



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Dirección General de Estudios de Posgrado

Facultad de Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica

Unidad de Posgrado

**Eficiencia del *Amaranthus caudatus* como
fitoextractor del plomo en suelos contaminados de los
grandes parques de Lima Metropolitana**

TESIS

Para optar el Grado Académico de Doctora en Ciencias

Ambientales

AUTOR

Lily Denise TELLO PERAMÁS

ASESOR

Jorge Leonardo JAVE NAKAYO

Lima, Perú

2018



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Tello, L. (2018). *Eficiencia del Amaranthus caudatus como fitoextractor del plomo en suelos contaminados de los grandes parques de Lima Metropolitana*. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica, Unidad de Posgrado]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

Universidad del Perú, Decana de América

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

UNIDAD DE POSGRADO



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

SUSTENTACIÓN PÚBLICA

En la Universidad Nacional Mayor de San Marcos-Lima, a los veintisiete días del mes de setiembre del 2018, siendo las 15:00 horas, se reúnen los suscritos miembros del JURADO EXAMINADOR DE TESIS, nombrado mediante Dictamen N.º 548/UPG-FIGMMG/2018 del 12 de setiembre del 2018, con la finalidad de evaluar la sustentación oral de la siguiente tesis:

TITULO

«EFICIENCIA DEL *Amaranthus caudatus* COMO FITOEXTRACTOR DEL PLOMO EN SUELOS CONTAMINADOS DE LOS GRANDES PARQUES DE LIMA METROPOLITANA»

Que, presenta la Mag. **LILY DENISE TELLO PERAMÁS**, para optar el **GRADO ACADÉMICO DE DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES**.

El secretario del Jurado Examinador de la Tesis, analiza el expediente N.º 05660-FIGMMG-2015 del 10 de agosto del 2015, en el marco legal y Estatutario de la Ley Universitaria, acreditando que tiene todos los documentos y cumplió con las etapas del trámite según el «Reglamento de los Estudios de Doctorado».

Luego de la Sustentación de la Tesis, los miembros del Jurado Examinador procedieron a aplicar la escala descrita en el Art. 61 del precitado Reglamento, correspondiéndole a la graduando la siguiente calificación:

Bueno (16)

Habiendo sido aprobada la sustentación de la Tesis, el Presidente recomienda a la Facultad se le otorgue el **GRADO ACADÉMICO DE DOCTORA EN CIENCIAS AMBIENTALES** a la Mag. **LILY DENISE TELLO PERAMÁS**.

Siendo las 16:00 horas, se dio por concluido al acto académico

DR. PABLO SERGIO RAMÍREZ ROCA
Presidente

DR. JHONNY WILFREDO VALVERDE FLORES
Secretario

DR. RAYMUNDO ERAZO ERAZO
Miembro

DR. MARÍA CLARISA TOVAR TORRES DE AGUILAR
Miembro

DR. JORGE LEONARDO JAVE NAKAYO
Asesor

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos aquellos que de uno u otro modo contribuyeron a la realización de este trabajo.

Dedico mi trabajo a mis seres queridos; mis padres, por ellos he logrado todo; mi querida hermana-amiga-confidente, Sandra; mis tesoros, lo más hermoso en mi vida, José Alfonso y Mariana Denise de quienes espero y deseo honorabilidad, esfuerzo, dedicación y felicidad en su vida; a mi nueva beba Kiara quién con una sonrisa me alegra el día; a mis hermanos Pepe y Franz; a mis sobrinos Angelo y Jose.

Finalmente agradezco a Dios y la Virgen María por todo lo que he vivido y que me ha permitido valorar más a mis seres queridos.

Índice general

| | Página |
|---|--------|
| Capítulo 1: Introducción | |
| 1.1 Situación problemática | 1 |
| 1.2 Formulación del problema | 5 |
| 1.3 Justificación teórica | 5 |
| 1.4 Justificación práctica | 6 |
| 1.5 Objetivos de la investigación | 7 |
| Capítulo 2: Marco Teórico | |
| 2.1 Marco filosófico | 8 |
| 2.2 Antecedentes de la investigación | 9 |
| 2.3 Bases teóricas | 12 |
| 2.3.1 Calidad de agua de riego respecto al nivel de plomo | 12 |
| 2.3.2 Calidad del suelo respecto al nivel de plomo | 13 |
| 2.3.3. Riesgos en la salud pública respecto al nivel de plomo | 15 |
| 2.3.4 Eficiencia de la extracción de plomo en suelos contaminados | 16 |
| 2.3.5 Plantas hiperacumuladoras – <i>Amaranthus caudatus</i> | 18 |
| 2.3.6 EDTA (Etilendiaminotetraacético) | 20 |
| 2.4 Visión legal sobre suelos y aguas contaminados | 21 |
| Capítulo 3: Metodología | |
| 3.1 Ubicación | 24 |
| 3.2 Unidad de análisis | 24 |

| | | |
|-----------------------------------|---|-----|
| 3.3 | Flujo de la metodología de la investigación | 26 |
| 3.3.1 | Materiales y equipos | 27 |
| 3.3.2 | Metodología | 28 |
| 3.4 | Análisis estadístico | 35 |
| Capítulo 4 Resultados y discusión | | |
| 4.1 | Análisis, interpretación y discusión de resultados | 37 |
| 4.1.1 | Muestreos de identificación y detalle de los suelos de los GPLM | 37 |
| 4.1.2 | Muestreos simples y múltiples de agua de los GPLM y caudal de agua de riego | 48 |
| 4.1.3 | Resultados del bioensayo | 49 |
| 4.1.4 | Factor de bioconcentración (FBC) y factor de translocación (FT) para el <i>Amaranthus caudatus</i> en los suelos de los GPLM | 65 |
| 4.1.5 | Contenido de plomo en los suelos de los GPLM luego de la fitoextracción | 68 |
| 4.2 | Pruebas de hipótesis | 69 |
| 4.3 | Presentación de resultados | 73 |
| 4.3.1 | Muestreo de identificación y detalle de los suelos de los GPLM | 73 |
| 4.3.2 | Muestreos simples y múltiples de agua de los GPLM | 79 |
| 4.3.3 | Resultados del bioensayo | 84 |
| 5. | Conclusiones | 90 |
| 6. | Recomendaciones | 91 |
| 7. | Referencias bibliográficas | 92 |
| 8. | Anexos | 100 |

Lista de cuadros

| | Página |
|--|--------|
| Cuadro 1. Flujo de la metodología de la investigación | 26 |
| Cuadro 2. Número de muestras para el MI y MD en función al área | 30 |
| Cuadro 3. Diseño experimental del bioensayo | 34 |
| Cuadro 4. Prueba "T" para una muestra con valor de prueba = 140 ppm Pb de las concentraciones totales de plomo en los suelos de los GPLM y Prueba Wilcoxon para el parque Pentagonito. | 39 |
| Cuadro 5. Prueba "Z" para un valor crítico entre -1.96 y 1.96, con valor de prueba = 140 ppm Pb de las concentraciones totales de plomo en los suelos de los GPLM. | 41 |
| Cuadro 6. Caracterización de los suelos de los GPLM | 47 |
| Cuadro 7. Caudal, frecuencia de riego y cantidad de plomo incorporado por año a los suelos de los GPLM vía riego | 48 |
| Cuadro 8. Concentración promedio de plomo total (ppm) en tejidos de <i>Amaranthus caudatus</i> en las tres etapas de crecimiento y desarrollo en el parque Campo de Marte | 59 |
| Cuadro 9. Factores de bioacumulación y de translocación en los parques Campo de Marte y Bosque El Olivar | 66 |
| Cuadro 10. Factores de bioacumulación y de translocación en los parques Zoológico de Huachipa y Las Leyendas | 66 |
| Cuadro 11. Cantidad de plomo extraída (ppm) de cada unidad experimental de suelo. | 68 |

| | |
|--|----|
| Cuadro 12. Cantidad de plomo (ppm) en los suelos luego de la fitoextracción (análisis de comprobación) para cada una de las 72 unidades experimentales | 70 |
| Cuadro 13. Resultados de Prueba T para una muestra (valor de Prueba=0.05 ppm de Pb) de aguas de los GPLM. | 71 |
| Cuadro 14. Cantidad de plomo extraída en función a calidades de agua y uso de EDTA en los GPLM. | 73 |
| Cuadro 15. Georreferenciación de los puntos de muestreo de identificación y detalle en los GPLM. | 74 |
| Cuadro 16. Análisis simple de las múltiples muestras de agua de riego en los GPLM. | 79 |
| Cuadro 17. Peso seco (gramos) de <i>Amaranthus caudatus</i> para cada tratamiento con tres repeticiones y en cada uno de los cuatro GPLM. | 84 |
| Cuadro 18. Concentración total de plomo (ppm) en las tres etapas de crecimiento y desarrollo de <i>Amaranthus caudatus</i> y en las distintas partes de las plantas. | 87 |

Lista de figuras

| | Página |
|--|--------|
| Figura 1. Ácido Etilen Diamino Tetraacético | 20 |
| Figura 2. Mapa del departamento de Lima con la ubicación de los seis parques. | 25 |
| Figura 3. Nivel de plomo en los suelos del Parque Las Leyendas. | 38 |
| Figura 4. Nivel de plomo en los suelos del Parque Zoológico de Huachipa. | 40 |
| Figura 5. Nivel de plomo en los suelos del Parque Kennedy. | 42 |
| Figura 6. Nivel de plomo en los suelos del Parque Campo de Marte. | 43 |
| Figura 7. Nivel de plomo en los suelos del Parque Bosque El Olivar. | 44 |
| Figura 8. Nivel de plomo en los suelos del Parque Pentagonito. | 45 |
| Figura 9. Pesos secos de <i>Amaranthus caudatus</i> en las tres etapas de crecimiento y desarrollo en el parque Campo de Marte | 50 |
| Figura 10. <i>Amaranthus caudatus</i> en suelos de Campo de Marte | 51 |
| Figura 11. Pesos secos de <i>Amaranthus caudatus</i> en las tres etapas de crecimiento y desarrollo en el parque Bosque El Olivar. | 52 |
| Figura 12. <i>Amaranthus caudatus</i> en suelos de Bosque El Olivar | 52 |
| Figura 13. <i>Amaranthus caudatus</i> en suelos de Zoológico de Huachipa | 53 |
| Figura 14. Pesos secos de <i>Amaranthus caudatus</i> en las tres etapas de crecimiento y desarrollo en el parque Zoológico de Huachipa. | 54 |
| Figura 15. Pesos secos de <i>Amaranthus caudatus</i> en las tres etapas de crecimiento y desarrollo en el parque Las Leyendas | 55 |

| | |
|---|----|
| Figura 16. <i>Amaranthus caudatus</i> en suelos del Parque Las Leyendas. | 55 |
| Figura 17. Pesos secos total de la tercera etapa de crecimiento y desarrollo en los cuatro parques. | 56 |
| Figura 18. Primera etapa de crecimiento y desarrollo, 17/noviembre/2016 | 57 |
| Figura 19. Segunda etapa de crecimiento y desarrollo, 29/noviembre/2016 | 57 |
| Figura 20. Tercera etapa de crecimiento y desarrollo, 29/diciembre/2016 | 58 |
| Figura 21. Contenido de plomo total en los diferentes órganos aéreos de <i>Amarantus caudatus</i> y en las tres etapas de crecimiento en suelos del parque Campo de Marte. | 60 |
| Figura 22. Contenido de plomo total en los diferentes órganos aéreos de <i>Amarantus caudatus</i> y en las tres etapas de crecimiento en suelos del parque Bosque El Olivar. | 61 |
| Figura 23. Contenido de plomo total en los diferentes órganos aéreos de <i>Amarantus caudatus</i> y en las tres etapas de crecimiento en suelos del parque Zoológico de Huachipa. | 62 |
| Figura 24. Contenido de plomo total en los diferentes órganos aéreos de <i>Amarantus caudatus</i> y en las tres etapas de crecimiento en suelos del parque Las Leyendas. | 63 |
| Figura 25. Plomo total (parte aérea más radicular) en <i>Amaranthus caudatus</i> en los cuatro parques. | 64 |

Resumen

El objetivo fue desarrollar una alternativa de fitoextracción usando *Amaranthus caudatus* en los suelos contaminados de los Grandes Parques de Lima Metropolitana (GPLM) que fueron Bosque El Olivar, Campo de Marte, Pentagonito, Zoológico de Huachipa, Las Leyendas y Kennedy. Para ello se determinó el contenido total de plomo en los suelos y agua de riego de los GPLM siguiendo las pautas dadas por la guía para muestreo de suelos (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2014). Los valores promedio de plomo total en los suelos de los GPLM como Bosque El Olivar (170 ppm Pb), Campo de Marte (226 ppm Pb) y Pentagonito (159 ppm Pb) estuvieron por encima de lo permitido por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA-Perú:140 ppm). En el parque Las Leyendas se determinó que ocho de las 98 hectáreas estaban contaminadas (234.5 ppm Pb) y en el Zoológico de Huachipa 0.7 de las 11 hectáreas (266 ppm Pb) sobrepasaron el límite ECA; mientras que el parque Kennedy no sobrepasó los valores de ECA (56-78 ppm Pb). En los análisis de plomo total en agua se encontró que no sobrepasan el límite ECA de 0.05 ppm.

Se instaló un bioensayo usando la especie *Amaranthus caudatus*, Etilendiaminotetraacético (EDTA), suelos contaminados de los GPLM y tres calidades de agua para riego. Los resultados indican que la especie *Amaranthus caudatus* tuvo un comportamiento acumulador siendo una especie eficiente para extraer plomo en suelos contaminados; la aplicación de EDTA a los suelos incrementó la fitoextracción en suelos no salinos y las calidades de agua utilizadas no influyeron en la fitoextracción de plomo.

Palabras claves: metales pesados, suelos contaminados, áreas verdes urbanas, EDTA, *Amaranthus caudatus*.

Abstract

The objective of this investigation was perform a phytoextraction of lead in contaminated soils using *Amaranthus caudatus*. The parks were Campo de Marte, Bosque El Olivar, Pentagonito, Huachipa y Leyendas. The total lead content at the soils and irrigation water was quantificated following the guidelines of the soil sampling guide (MINAM, 2014). The mean values of total lead in soils of the GPLM Bosque Olivar (170 ppm Pb), Campo de Marte (226 ppm Pb) and Pentagonito (159 ppm Pb) were found to be above that allowed by the Environmental Quality Standards (ECA-Peru: 140 ppm). In park Leyendas was determinated that eight of the 98 hectares were contaminated (234.5 ppm Pb) and Huachipa Zoo 0.7 Of 11 hectares were contaminated too (266 ppm Pb), while Kennedy Park did not exceed the ECA (56 ppm Pb). All water samples do not exceed the ECA limit of 0.05 ppm; therefore, irrigation water from the different parks does not constitute a contamination factor lead.

A bioassay was installed with the specie *Amaranthus caudatus*; three qualities of water irrigation; soils contaminated with lead and EDTA. It was determined that *Amaranthus caudatus* is a lead accumulator specie and it is efficient phytoextraction of lead too. Apply EDTA to the soil increased phytoextraction in no-saline soils. Any of the water qualities did not influence the phytoextraction of lead.

Key words: Lead, contaminated soils, urban green areas, EDTA, *Amaranthus caudatus*.

Resumo

A pesquisa teve como objetivo desenvolver uma metodologia de fitoextração empregando o *Amaranthus caudatus* em solos contaminados dos parques de Lima, por meio da determinação do conteúdo total de chumbo em solo e água de irrigação dos parques Bosque El Olivar, Campo de Marte, Pentagonito, Zoológico de Huachipa, Las Leyendas e Kennedy seguindo as indicações de Ministério do Ambiente (MINAM, 2014). Os teores médios de chumbo total nos solos dos GPLM como Bosque El Olivar (170 ppm Pb), Campo de Marte (226 ppm Pb) e Pentagonito (159 ppm Pb) estiveram acima do permitido segundo os Padrões de Qualidade Ambiental (ECA-Perú: 140 ppm). No parque Las Leyendas oito dos 98 hectares estavam contaminadas (234.5 ppm Pb) e no Zoológico de Huachipa 0.7 dos 11 hectares (266 ppm Pb) ultrapassaram o limite ECA. Já o parque Kennedy não ultrapassou os valores de ECA (56-78 ppm Pb). As análises de chumbo total obtidas em amostras de água dos Parques não ultrapassaram o limite ECA de 0.05 ppm.

Um bioensaio foi instalado a espécie *Amaranthus caudatus*, o Etilendiaminotetraacético (EDTA) e três qualidades de água para irrigação. Os resultados indicam que o *Amaranthus caudatus* teve comportamento acumulador. Esta é uma espécie eficiente na extração de chumbo para solos contaminados. A alternativa de se aplicar EDTA em solos aumentou a fitoextração em solos não salinos. Não foi verificado interferência na fitoextração do chumbo nas qualidades de água avaliadas.

Palavras chave: metais pesados, solos contaminados, áreas verdes urbanas, EDTA, *Amaranthus caudatus*.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 Situación Problemática

En Lima Metropolitana no se tienen registros de niveles de plomo en los suelos de los grandes parques; se sabe que el Estándar de Calidad Ambiental ([ECA] para suelos de Perú (DS 011 – 2017-Ministerio del Ambiente [MINAM]) recomienda que el nivel de plomo en los suelos urbanos se encuentre por debajo de 140 ppm en parques. En esta línea, el ECA para agua (DS N 004-2017-MINAM) define que la categoría 3, Sub categoría D1 es a la que pertenece el agua de riego destinada a los parques públicos, la cual recomienda un nivel de plomo de 0.05 mg/L.

Los grandes parques de Lima Metropolitana (GPLM) son frecuentados por personas de diversas edades y para múltiples fines. Tenemos el Campo de Marte ubicado a 12°04'06''S, 77°02'29''O en el distrito de Jesús María con 375.2 km² de área, muy conocido y frecuentado por realizarse desfiles militares y escolares, ferias artesanales y/o de alimentos típicos y con historias como el asesinato del presidente Luis Miguel Sánchez Cerro el 30 de abril de 1933 o la destrucción de parte de uno de sus monumentos, el Ojo que Lloro, el 23 de setiembre del 2007. El Bosque El Olivar ubicado a 12°05'57'', 77°02'05''W en el distrito de San Isidro con 230 km² de área, declarado monumento nacional el 16 de diciembre del 1959, con 1600 olivos dentro de

un total de 1946 árboles y con ejemplares de 350 años de antigüedad y 35 especies de aves estacionales más 22 nativas; por lo cual, en el año 2017 fue declarado área de conservación ambiental. Los suelos de Campo de Marte y Bosque El Olivar tienen cientos de años y el Pentagonito alrededor de 45 años. Estos parques, colindan con vías de comunicación de acceso público y/o privado, incluso en el caso de Bosque El Olivar es atravesado por pistas donde existe tránsito vehicular la mayor parte del tiempo, en este parque incluso hay casas de la época colonial. Se tiene como referencia que el uso de gasolina y pintura con plomo en su composición fue una fuente importante de este metal pesado en los suelos urbanos (Witzling *et al.*, 2011), por lo que se prohibió su uso como aditivo. Esto se cumplió en el país a partir del 2005 (Arosquipa & Villegas, 2013; Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2012; Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 1998).

Castillo (2010) encontró en las bermas de suelos urbanos de Lima Metropolitana, ubicados en lugares con mayor afluencia vehicular, una mayor concentración de plomo en los primeros centímetros de suelos con niveles promedio de 189 ppm Pb y con valores picos de 412 ppm de Pb en los cruces de avenida Aviación con avenida San Borja. Por ser el plomo un elemento pesado de lenta movilidad, se queda en la superficie del suelo por muchos años.

El parque zoológico de Huachipa (PZH) ubicado a 12°00'37''S, 76°52'12''O en la margen izquierda del río Rímac en el distrito de Ate Vitarte, con un área aproximada de 100 km², inaugurado en el año 2002, tiene por objetivo principal el promover acciones para la conservación de la naturaleza y biodiversidad; posee más de 300 especies entre autóctona y foránea dando un total de alrededor 1000 especímenes la mayoría nativos como pingüinos de Humboldt, pavas aliblanco, lobos de mar, etc.; por este motivo ha sido considerado dentro de los 11 mejores parques de América Latina (El Comercio, 2015). El PZH es miembro acreditado de International Species

Information System (ISIS), World Association of Zoos and Aquariums (WAZA) y de la Asociación Latinoamericana de Parques Zoológicos y Acuarios (ALPZA). Uno de sus grandes logros en conservación es la rana gigante del Titicaca quién a la fecha se encuentra en peligro de extinción. En el 2016 lanzó su nuevo atractivo del Gran acuario de Lima demostrando un permanente avance y mejora. En los meses de diciembre a marzo, la zona del Bosque de Aves y la entrada principal del parque son inundadas por agua del río Rímac por tratarse de época de lluvias en la sierra. Huachipa se caracteriza por actividades de desarrollo industrial con fábricas de ropa y pinturas; los trabajadores del parque informan que en ocasiones observan una coloración atípica en el agua que pasa por la acequia lo cual podría significar que alguna de estas fábricas está arrojando sus desechos al agua; de ser así, podrían liberarse metales pesados, que ocasiona contaminación en el agua, sedimentos y suelos lo cual reportaron Pottier *et al.*, 2015 y Ji *et al.*, 2011 en investigaciones foráneas. La Autoridad Nacional del Agua (2012) realizó un monitoreo del agua de la cuenca del río Rímac encontrando en su parte baja (Ate Vitarte) los mayores problemas de contaminación por plomo, probablemente a los sedimentos transportados, debido a que el plomo no es soluble en el agua sino se encuentra adsorbido a las partículas (Xu *et al.*, 2017).

El parque de Las Leyendas ubicado a 12°04'02"S, 77°05'12"O en el distrito de San Miguel, con un área de 980 km² fue inaugurado en 1964 y posee 118 especies de mamíferos, 33 de aves y 4 reptiles en costa, 118 especies de mamíferos y 93 de aves en Sierra, 18 especies de Selva y 19 especies en zona internacional. La zona denominada "Pampa Galeras" tiene una extensión de ocho hectáreas, es una depresión que por los años de 1730 era un estanque de agua de la Hacienda Maranga (Narváez, 2014). En ambos se promueven acciones para la conservación de la naturaleza y biodiversidad, son hábitat de una gran diversidad de especies y reciben miles de visitantes por mes. El parque Kennedy ubicado a 12°07'14S, 77°01'47"O en el distrito de Miraflores, con un área de 25 km², es un parque donde constantemente se realizan cambios estructurales con movimientos de tierras debido a que su

característica es ser lugar de actividades culturales y comerciales. El parque El Pentagonito ubicado a 12°06'00'', 77°01'00''O en el distrito de San Borja, con un área aproximada de cinco km², básicamente es un área verde que rodea el Cuartel General del Ejército del Perú y donde los vecinos trotan y realizan ejercicios.

Una realidad cercana a nuestra ciudad es la irresponsable contaminación del río Rímac. Este río perteneciente a la vertiente del Pacífico inicia su recorrido en la vertiente occidental de la cordillera de los Andes y desemboca en el Océano Pacífico, junto con los ríos Chillón y Lurín. Tiene una longitud de 160 km y una cuenca de 3 312 km²; actualmente, el río Rímac y la Quebrada Huaycoloro viene siendo afectada por las diferentes actividades productivas desarrolladas desde la cabecera de cuenca hasta su desembocadura siendo las actividades más comunes la minera, industrial, agrícola, poblacional y residuos sólidos (Autoridad Nacional del Agua [ANA],2012).

Por ello; en la presente investigación el objetivo principal es desarrollar una alternativa en base a la fitoextracción de plomo usando *Amaranthus caudatus* y los objetivos secundarios son identificar a los grandes parques de Lima Metropolitana que se encuentran contaminados con plomo y determinar la relación que existe entre el contenido de plomo en los suelos de los grandes parques de Lima Metropolitana y el agua usada para su riego. Para lograrlo se realizaron muestreos de identificación y detalle en los suelos de los GPLM, muestreos múltiples y simples de agua de riego de los GPLM; se cuantificó el contenido de plomo en los suelos y el aporte anual de plomo por el agua de riego a los suelos teniendo en cuenta la concentración de plomo en el agua, el caudal de riego y tiempo de riego. Con los suelos contaminados se instaló un bioensayo piloto y se cuantificó el contenido de plomo en los suelos luego de la fitoextracción, considerado el muestreo de comprobación, así como el contenido de plomo en las diferentes partes de la planta (hoja, tallos, inflorescencia, raíces) en tres etapas de crecimiento y desarrollo.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿Es eficiente la fitoextracción del plomo en los suelos contaminados de los Grandes Parques de Lima Metropolitana al sembrar *Amaranthus caudatus*?

1.2.2 Problemas Específicos

¿Cómo influye el agua de riego sobre el contenido de plomo en los suelos de los grandes parques de Lima Metropolitana?

¿Cuánto plomo puede extraer la especie *Amaranthus caudatus*?

¿La aplicación de ácido etilen diamino tetra acético a los suelos, incrementará la fitoextracción de plomo con la especie *Amaranthus caudatus*?

1.3 Justificación teórica

En el marco conceptual es importante dar a conocer la dinámica de contaminación con plomo en los suelos urbanos de los grandes parques de Lima Metropolitana (GPLM) toda vez que a la fecha no existe esta información, siendo el trabajo desde este punto de vista una investigación inédita.

Esta investigación permitirá dar a conocer una nueva planta acumuladora toda vez que a la fecha el *Amaranthus caudatus* no ha sido probado como

fitoextractor en suelos contaminados con plomo; por tanto, desde este punto de vista también esta investigación es inédita.

Se dará a conocer datos sobre la cantidad de plomo que existe en los suelos de los GPLM analizados.

1.4 Justificación práctica

En el marco de salud y bienestar social urge conocer en qué concentración se encuentra el metal pesado plomo en los suelos de los parques para proteger la salud de todas las personas que frecuentan estos parques como su lugar de esparcimiento en especial de los niños por ser los más sensibles.

Permitirá informar a las municipalidades cuáles de los grandes parques de Lima están contaminados con plomo por el pasivo dejado por el uso de combustible con plomo y cuáles continúan siendo contaminados al usar aguas de riego con plomo; además se proporcionará una solución a través de la fitoextracción.

Desde la perspectiva ambiental se desarrollará la alternativa de fitoextracción con *Amaranthus caudatus* para bioremediar los suelos de los parques contaminados con plomo dándose las recomendaciones a las municipalidades.

Desde la perspectiva social, los usuarios y vecinos serán los principales beneficiarios ya que podrán acceder a un ambiente que no represente un riesgo para su salud.

1.5 Objetivos de la Investigación

1.5.1 *Objetivo General*

Desarrollar una alternativa de fitoextracción eficiente en plomo usando *Amaranthus caudatus* en los suelos contaminados de los grandes parques de Lima Metropolitana.

1.5.2 *Objetivos Específicos*

- a) Determinar el contenido de plomo en el agua de riego y los suelos de los grandes parques de Lima Metropolitana.
- b) Cuantificar la cantidad de plomo extraído por la parte foliar, radicular e inflorescencia del *Amaranthus caudatus* en tres etapas de su crecimiento y desarrollo.
- c) Determinar el efecto de la aplicación del ácido etilen diamino tetraacético (EDTA) al suelo sobre la eficiencia en la fitoextracción de plomo por el *Amaranthus caudatus*.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Filosófico o epistemológico de la investigación

Dentro de los fundamentos filosóficos de la investigación científica es “el positivismo” como paradigma epistemológico el que encaja con la investigación ya que se relaciona con conceptos de ciencias capaces de prevenir o reformar de manera positiva el pensamiento humano. En el positivismo es objeto de estudio sólo aquello que es medible u observable. Se aceptan los conocimientos que provienen de datos empíricos y es fundamental la verificación (Alonso Trujillo, 2010). En el positivismo prevalecen los hechos sobre las ideas, la comprobación es fundamental para determinar la validez del conocimiento; no se trata sólo de saber el porqué de los hechos, aspecto absoluto, sino el cómo ocurren, aspecto relativo (Ortiz, Ocaña, 2015).

En epistemología ambiental se tiene el principio restrictivo, donde se descartan aquellas acciones cuya práctica sea incompatible con la preservación del ambiente. En el ámbito ambiental, la ética, estética, agradabilidad tienen semejante importancia que la información, flujos de energía y ciclos materiales entonces la crisis ambiental no sólo es destrucción de recursos naturales sino más bien la conciencia, sentimientos y acciones

que causan un empobrecimiento de la diversidad en el planeta interrumpiendo los flujos de energía, materia e información (Torres Carral, 2015).

La elección de *Amaranthus caudatus* como planta ornamental se apoya en el modelo epistémico del empirismo ya que el sistema radicular de la especie es pivotante, hecho que permite a la planta hasta un mayor 40% de mayor exploración de suelo a diferencia de otras especies ornamentales; la intencionalidad práctica fue lograr una mayor fitoextracción en un menor tiempo reduciendo los costos y por ende aumentando los beneficios (Ortiz, 2015).

La investigación científica tiene datos cuantificables que permitieron analizar, evaluar y demostrar que el cultivo *Amaranthus caudatus* tiene actividad fitoextractora de plomo bajo las condiciones de suelo y/o agua de riego contaminada con ese elemento. Los factores suelos y agua se encuentran contaminados con plomo por acción antrópica lo cual epistemológicamente representa una crisis ambiental.

2.2 Antecedentes de investigación

En el 2009, en una investigación realizada por Ortiz, Trejo, Valdez, Arreola, Flores y López, se utilizaron suelos superficiales (0 – 30cm) colectados del área de Bermejillo, Durando, México, estaban contaminados, de pH ligeramente básico y de textura franca; semillas de *Amaranthus hybridus* en almácigo y nitrato de plomo y cloruro de cadmio que se añadió al suelo en cantidades de 300 ppm y 15 ppm respectivamente. Se encontró que el *Amaranthus hybridus* tiene la capacidad de concentrar en sus tejidos más plomo y cadmio conforme aumenta la edad de la planta y la adición de

micorrizas (*Entrophospora columbiana*, *Glomus intraradices*, *G. etunicatum*, *G. clarum*) mejoró su capacidad fitoextractora concluyéndose que esta especie tiene potencial para remediar suelos contaminados con plomo y cadmio. Comparando con la presente investigación se utilizaron suelos superficiales (0 – 10cm) colectados de los GPLM contaminados con plomo; semillas de *Amaranthus caudatus* en siembra directa y EDTA. Antes de instalar el bioensayo se realizaron pruebas de colonización con micorrizas y se encontró 0% de colonización de micorrizas a diferencia de la especie *Amaranthus hybridus*. Debido a que *A.hybridus* y *A. caudatus* son especies del mismo género y semejante raíz pivotante, se asumió que *Amaranthus caudatus* podría tener la capacidad de remediar suelos contaminados a través de la fitoextracción.

En el 2016 en China, Li N, Guo, Li H, Fu, Feng y Ding, compararon la eficiencia de fitoextracción de metales pesados (Cd, Pb y Zn) usando 6 especies foráneas, una de ellas *Amaranthus hypochondriacus*, cuyas características fueron tener una gran biomasa y encontró que *A. hypochondriacus* tiene un gran potencial de fitoextracción de cadmio en suelos contaminados; por ese motivo, en el presente experimento se asumió que *Amaranthus caudatus* podría tener un alto potencial de fitoextracción de plomo en los suelos contaminados de los GPLM en base a su raíz pivotante y gran biomasa.

En un trabajo de tesis se tomaron muestras de suelos de 40 lugares con características de mayor afluencia vehicular y peatonal de Lima Metropolitana y se evaluó la presencia de plomo obteniéndose en las avenidas más transitadas un valor promedio de 189,39 ppm, una menor concentración de plomo en el cruce Av. Los Héroes con Av. San Juan, 62,12 ppm y una mayor concentración de plomo en suelos del cruce Av. Aviación con Av. San Borja, 412,25 ppm. (Castillo Alegría, 2010), se concluyó que gran parte de los suelos urbanos de Lima Metropolitana estaban contaminados con plomo. Con estos resultados se asumió que los suelos urbanos correspondientes a los

GPLM podrían estar contaminados con plomo especialmente aquellos que tienen muchos años y que por sus alrededores existe afluencia vehicular constante.

Zaier, Ghnaya, Ben, Lakhdar, Rejeb y Jemal, en el 2010 estudiaron el efecto del EDTA para ayudar a *Brassica napus* a extraer metales pesados del suelo cuando se aplicaba lodo de aguas residuales; para ello utilizaron suelos superficiales (30cm) del campo ubicado a 60 Km noreste de Tunis (Tunisia) y según tratamientos se añadió 0 ó 20 ó 40 u 80 t/ha de lodos de aguas residuales sin y con EDTA aplicados a las 8 semanas de la siembra a razón de 3 gramos por kilo de suelo. Hubo 5 momentos de cosecha: el día de la aplicación del EDTA y cada dos semanas después de la aplicación del EDTA. Con los resultados se concluyó que *Brassica napus* puede ser usado para descontaminar suelos con problemas de Pb, Zn y Mn y la aplicación de EDTA incrementa su capacidad de extracción y acumulación de estos elementos pesados evitando el riesgo de contaminar aguas subterráneas.

En el 2009, Manousaky y Kalogerakis, observaron que la salinidad no afectó la absorción de plomo en la especie *Atriplex halimus* ni se observaron síntomas de salinidad ni toxicidad. En la presente investigación se evaluó el efecto de usar y no usar EDTA para ayudar a la especie *Amaranthus caudatus* a extraer plomo de los suelos contaminados. La especie *Amaranthus caudatus* es tolerante a sales; el suelo del parque Las Leyendas tiene un alto contenido de sales.

Blanco, Salazar, Vergara, Pereyra, Cavaglieri, Becerra, Pignata y Rodríguez (2016), evaluaron la acumulación de plomo en diferentes partes del cultivo de sorgo y en diversas etapas vegetativas encontrando que la mayor concentración de plomo estuvo en las raíces y que el producto comestible no tenía riesgo toxicológico; en esta investigación se analizó la fitoextracción en las diferentes partes de la planta y en 3 etapas de crecimiento y desarrollo.

En 2012, Ruiz y Armienta, analizaron en un experimento en invernadero, con cuatro suelos, en maíz y a los 30 y 70 días, el factor de translocación (FT: concentración de metales en la parte aérea sobre la concentración de metales en raíz) y bioconcentración (FBC: concentración de metales en raíz sobre la concentración de metales en el suelo) de metales; encontrando un mayor FT y un menor FBC a los 70 días, lo que indica su acumulación y transferencia de la raíz a la parte aérea; además observaron un diferente patrón de comportamiento en el desarrollo de las plantas de maíz en función a los suelos.

2.3 Bases Teóricas

2.3.1 Calidad del agua de riego respecto al nivel de plomo

Para establecer la calidad de un agua para riego hay que determinar su composición con análisis en el laboratorio, todos los resultados deben estar dentro de ciertos límites y aplicar unos índices que relacionen su contenido entre sí (Barrantes Sánchez-Merino, 1992). También se debe considerar el nivel de elementos pesados como el plomo; el cual, tiende a formar compuestos con aniones que posean baja solubilidad, como, los hidróxidos, carbonatos y fosfatos. Por tanto, la cantidad de plomo remanente en solución en las aguas superficiales (también dependiente del pH y salinidad) es generalmente bajo. La mayor parte del plomo se mantiene retenido fuertemente y muy poco se transporta hacia aguas superficiales o subterráneas.

Estudios sobre el uso de las aguas residuales han indicado que el 85 % de los oligoelementos (cadmio, cromo, plomo y zinc etc.) se acumulan en

el suelo y que la mayoría de ellos se acumulan en los primeros centímetros. Además, la absorción de estos elementos por las plantas es tan pequeña, que no se puede esperar que reduzca apreciablemente su acumulación en los suelos en un tiempo razonable. La concentración de plomo permisible en aguas de riego establecidas por otros países o guías internacionales oscila entre 0.001 ppm para Chile hasta 5.0 para FAO (DIGESA, www.digesa.sld.pe/depa/informes.../grupo%20de%20uso%203.pdf).

En el 2012, la autoridad nacional del agua realizó un monitoreo de la cuenca del río Rímac, encontrando en la parte baja de la cuenca los mayores problemas de contaminación con plomo con valores que oscilan desde 0.0414 hasta 0.1372 y una media de 0.074.

En junio del 2017, aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua (DS N° 004-2017-MINAM) indican un nivel máximo permisible de 0.05 mg/L de plomo para aguas destinadas a parques públicos (Categoría 3 – Subcategoría D1) y bebida de animales (Categoría 3 – subcategoríaD2).

2.3.2 Calidad del Suelos respecto al nivel de plomo

Normalmente el contenido de plomo en rocas y suelos es como elemento traza (<0.1% por peso), su radio iónico es 124 pm y su reemplazo isomorfo es el potasio (133 pm) en los silicatos; por ello, hay un incremento en la concentración de plomo en rocas ígneas ácidas (18 ug/g) comparado con rocas ígneas ultrabásicas (1 ug/g). En rocas sedimentarias las lutitas poseen en promedio 25 ug/g mientras que las areniscas tienen 12 ug/g. En general, las formas en las que se encuentra el plomo en los suelos dependen de la composición del suelo, su mineralogía, el contenido de materia orgánica y el pH de la solución. Varios de los minerales que forma el plomo son

ligeramente insolubles en agua, siendo considerado el metal pesado menos móvil del suelo (Yaron Bruno, 1996).

En cuanto a los valores de plomo en los suelos hasta los 15 cm de profundidad oscilan entre 15 y 106 ug/g; en 3944 muestras de suelos la cantidad de plomo promedio estuvo entre 15 y 106 ug/g. A través del tiempo, los suelos han recibido plomo de la actividad de minería y fundiciones, de las aguas residuales usadas en agricultura, de la contaminación vehicular, de pesticidas, de pintura de los vertidos industriales y urbanos, los lodos procedentes de estaciones depuradoras y depósitos industriales y todos ellos aumentan el contenido de plomo en suelos hasta una profundidad de 35 a 40 cm, aunque la acumulación máxima se concentra en los primeros 5 cm (Madejón, 2002; Seoáñez, 1999).

Las evidencias demuestran que en la dinámica del plomo este elemento pesado puede pasar de la atmósfera al suelo como sulfato de plomo o es convertido rápidamente a sulfato de plomo en el suelo. El sulfato de plomo es relativamente soluble y por ello, puede lixiviarse a través del suelo si no es transformado. En suelos con pH mayor a 5 y con menos de 5% de materia orgánica, el plomo atmosférico es retenido en los primeros 2 – 5 cm de suelo (Xintaras, 1992). En suelos con pH mayor a 6 el plomo se encuentra insoluble retenido con fosfatos y/o carbonatos. En condiciones de reducción el PbS es más estable en la parte sólida del suelo y bajo condiciones anaeróbicas se forma tetrametil de plomo. Los suelos pueden contaminarse con metales pesados como el plomo debido a expansión industrial, minería, residuos de metales, uso de gasolina con plomo, pinturas, pesticidas y deposiciones atmosférica (Wuana & Okieimen, 2011).

La superficie total del suelo de Lima y Callao cubre más de 2,800 km². La mayor parte de esta superficie (aproximadamente el 55%), corresponde a suelo no utilizable, conformado por cerros y laderas de alta pendiente. El resto

comprende suelo urbanizado (24%), suelo urbanizable para fines de expansión urbana y asentamiento agropecuario (9%) y suelo no urbanizable (12%), que corresponde a las áreas agrícolas, de protección ecológica y de recreación extra-urbana en el cual se encuentran los parques, jardines y bermas. Esta clasificación y los mapas de uso del suelo disponibles no reflejarían cabalmente la realidad del territorio en la ciudad debido al alto grado de informalidad en los procesos de cambio de uso del suelo, la limitada capacidad de fiscalización de las zonificaciones y la corrupción (Grupo GEA, 2004).

2.3.3 Riesgos en la salud pública respecto al nivel de plomo

El plomo ha sido catalogado como un contaminante de preocupación por el EPA (environmental Protection Agency) debido a su persistencia en el medio ambiente, potencial de bioacumulación y toxicidad para los seres humanos y el medio ambiente. Se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza, sus fuentes naturales son la erosión del suelo, el desgaste de los depósitos de los minerales de plomo como la galena y las emanaciones volcánicas. El riesgo máximo se da por las emisiones asociadas al uso humano del metal y de sus derivados. La Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ha definido al bario, cadmio, cobre, **plomo**, manganeso, níquel, zinc, vanadio y estaño como elementos peligrosos lo que equivale a una peligrosidad potencial y que debe mantenerse bajo control. Todos, excepto el manganeso, son metales traza y todos, excepto el bario, son metales pesados. Mercurio, plomo y cadmio se encuentran entre los metales más prevalentes en el medio ambiente (Alfaro Paola, 2004).

Se calcula que aproximadamente el 90% de la cantidad corporal de plomo (CCP) se encuentra en los huesos ya que se une firmemente a este tejido debido a su afinidad por los sitios de acción molecular del calcio; el plomo sustituye al calcio en varios eventos regulatorios intracelulares,

causando efectos adversos en otros tejidos; por ejemplo, atravesando la barrera placentaria con graves consecuencias para el feto; para mujeres embarazadas $< 20 \text{ ug/dL}$ es el valor considerado como cantidad aceptable de plomo (Ramírez, 2005; Sanin, González, Romieu y Hernández, 1998). También puede causar problemas en la sangre, así como los sistemas: nervioso, inmunológico, renales y cardiovasculares. La primera infancia y las exposiciones prenatales se asocian con el desarrollo cognitivo lento, déficit de aprendizaje y otros efectos. La exposición a altas cantidades de plomo puede causar síntomas gastrointestinales, dañar gravemente el cerebro y los riñones, y puede causar efectos negativos en la reproducción. Grandes dosis de algunos compuestos de plomo han causado cáncer en animales de laboratorio.

Es importante tener en cuenta que los niños pequeños absorben el plomo con mucha más facilidad y rapidez que los adultos. El sistema nervioso en desarrollo de los niños pequeños es más susceptible a los efectos adversos del plomo.

2.3.4 Eficiencia de la fitoextracción de plomo en suelos contaminados

La fitoextracción es parte de la fitorremediación que a su vez es parte de la biorremediación. Entre las ventajas principales de la fitorremediación tenemos su bajo costo, es eficiente para contaminantes orgánico como inorgánicos, mejora las propiedades físico-químicas del suelo, es aceptada por el público ya que es estéticamente agradable. Además, el proceso se puede repetir ilimitadamente hasta que la concentración remanente de metales en el suelo esté dentro de los límites considerados como aceptables. Los enfoques también se discuten en relación a las propiedades del suelo y contaminante parámetros que son importantes para la selección de estas estrategias (Meuser Helmut, 2013). La fitoextracción o fitoacumulación, se basa en el uso de plantas que acumulan elevadas concentraciones de metales en sus tejidos para contener, remover o neutralizar contaminantes, mediante

mecanismos de captura de metales propios de estas plantas y/o por los microorganismos que se desarrollan en la rizósfera (Marrero, Amores y Coto, 2012). Posteriormente las plantas se cortan y se incineran en condiciones controladas. La raíz constituye el tejido de entrada principal de metales pesados en la planta. Hasta allí los metales pesados pueden llegar, fundamentalmente, por un proceso de difusión en el medio, mediante un flujo masivo y por intercambio catiónico (Ballesteros Lara, 2011).

La raíz posee cargas negativas en sus células, debido en gran medida a la presencia de grupos carboxilo del ácido péctico. Las cargas negativas de estas células de la rizodermis interaccionan con las positivas de los metales pesados presentes en el suelo, creando un equilibrio dinámico que facilita la entrada hacia el interior celular. De esta forma, los cationes entran por la pared celular, que además es hidrofílica, lo que facilita el transporte iónico (Navarro-Aviñó, Aguilar y Lopez-Moya, 2007). Una vez unidas las cargas positivas a las negativas de la pared celular, los metales pesados se transportan, en parte por la vía apoplástica, y en parte por la simplástica (Gimenez V., 1991). No obstante, se ha demostrado recientemente que parte del flujo de metales pesados, al menos en el caso del Pb puede quedar retenido en la pared celular por la estructura de lignina y celulosa. Una vez dentro de la planta, las especies metálicas son secuestradas o acomplejadas mediante la unión a ligandos específicos. Entre los quelantes producidos por las plantas se encuentran los ácidos orgánicos (ácidos cítrico, oxálico y málico), algunos aminoácidos (histidina y cisteína) y dos clases de péptidos: fitoquelatinas y metaloteínas. Finalmente, el complejo ligando-metal queda retenido en la vacuola.

Gracias a la fitoremediación, muchos sitios abandonados y donde algunas vez se ubicaron industrias, depósitos, vertederos, cuarteles militares (Meuser Helmut, 2013) y espacios agrícolas, es decir sitios considerados como amenazas potenciales por su influencia en elemento dañinos mediante la infiltración sobre el agua, el suelo, y aire (Whitacre, 2008), han sido restaurados llevando a cabo la limpieza y reutilización de estos sitios

contaminados haciéndolo candidatos para el desarrollo urbano (Frandegard, Svensson y Eklund, 2004).

2.3.5 Plantas Hiperacumuladoras – Acumuladoras – Fitoextractoras - *Amaranthus caudatus*

Se han identificado alrededor de 415 especies de plantas hiperacumuladoras distribuidas en 45 familias botánicas con capacidad para acumular selectivamente alguna sustancia. Son especies capaces de acumular metales a niveles de 100 veces más que aquellas plantas típicamente no acumuladoras comunes. Una hiperacumuladora concentrará más de 10 $\mu\text{g/g-1}$ Hg; **100 $\mu\text{g/g-1}$** Cd; 1000 $\mu\text{g/g-1}$ Co, Cr, Cu, y **Pb**; 10 000 $\mu\text{g/g-1}$ Zn y Ni (Kidd, Becerra, García y Monterroso, 2007); otras especies, sin embargo, presentan mecanismos extremadamente especializados que les permiten acumular o "hiperacumular" metales (como Cd, Co, Ni, Zn y Pb) en sus hojas, hasta alcanzar concentraciones superiores al 2% de su materia seca.

No todos los órganos de la planta tienen la misma significación en la acumulación de metales pesados. Normalmente, la raíz es el órgano prioritario de entrada y acumulación. En muchas especies se ha comprobado una fina compartimentación subcelular, especialmente en vacuola y pared celular de las hojas (Marrero, Amores y Coto, 2012).

Todas las plantas absorben metales del suelo donde crecen aunque en distinto grado dependiendo de la especie, características y cantidad del metal en el suelo. La acumulación de metales pesados en tejido vegetal implica biodisponibilidad a través del consumo en humanos y animales por lo que es importante determinar la concentración de elementos en la parte aérea y radicular para conocer los factores de bioconcentración y translocación (Ruíz y Armenta, 2012).

Amaranthus caudatus o achita o kiwicha pertenece a la familia Amaranthacea (significa “no se marchita”); su género logra desarrollar desde regiones templadas bajo condiciones de sequías, siendo tolerantes a la salinidad hasta regiones tropicales; es cultivada tanto en América como en África y Asia. En Sudamérica se cultiva en pequeñas parcelas, desde el sur de Colombia hasta el norte de la Argentina. El área dedicada a la producción de la kiwicha es casi marginal en la sierra de Colombia y Ecuador y los campos más frecuentes se encuentran en los valles interandinos de Perú, Bolivia y el norte de la Argentina. Esta especie tiene una raíz pivotante, corta, gruesa y provista de numerosas raicillas por lo que alcanza una buena distribución del suelo; esta característica la convierte en una especie altamente extractiva. Las hojas son opuestas, enteras y largamente pecioladas con un tamaño variable entre 6.5 y 15 cm de longitud; el color de las venas varía de verde a magenta. La inflorescencia llamada panoja es una espiga terminal colgante gruesa, de gran tamaño (0.5 – 0.9 m) con coloraciones variables de amarillo, rojo y púrpura lo que le da características de planta ornamental. Las flores y semillas son pequeñas. El momento de siembra en la costa es todo el año de preferencia con temperaturas entre 20 y 30 °C; requiere de suelos bien preparados ya que la semilla es pequeña, necesita una dosis de fertilización de 200-150-80 de N-P-K respectivamente. A la fecha es reconocido su alto valor alimenticio, agronómico y comercial (Gómez y Romero; 2004).

Las fases fenológicas son: fase emergencia hasta los 21 días (las hojas de las plantas tienen menos de 2 cm de largo), fase vegetativa hasta los 45 días y fase reproductiva hasta los 70 días (Estrada Zuñiga, 2011).

La especie *Amaranthus caudatus* es tolerante a sales; el suelo del parque Las Leyendas tiene un alto contenido de sales. Las características del sistema radicular pivotante, corto, grueso y provisto de numerosas raicillas le permiten tener una buena distribución en los primeros centímetros del suelo, lo cual indica una alta probabilidad de ser una planta extractiva. La cuantificación de la acumulación de plomo en diferentes partes de la especie y en diversas etapas vegetativas permitirá determinar si el producto

comestible tiene riesgo toxicológico y así poder cosechar antes del mencionado riesgo.

2.3.6 EDTA (ácido etilendiaminotetraacético)

El EDTA tiene seis pares de electrones (cuatro carboxilos y dos aminos) que puede formar enlaces covalentes con cationes metálicos como el plomo; el plomo tiene cuatro cargas positivas que se unen con cuatro cargas del EDTA y las otras dos cargas del EDTA se ionizan. El ácido etilen diamino tetraacético se caracteriza por tener cuatro posiciones acetato y dos aminos lo que le permite unirse con iones metálicos polivalente formando los conocidos “quelatos”. Los quelatos formados entre EDTA y plomo serán más disponibles para las plantas permitiendo una mayor extracción del plomo presente en el suelo. En España, el uso de EDTA en los suelos permitió una mayor extracción de elementos como el plomo aunque al mismo tiempo el tamaño del sistema radicular de las plantas se redujo (Martín-Aparicio, Pastor, Gutierrez-Maroto y Hernández, 2006) mientras que en Chile el uso de EDTA permitió extraer mayor cantidad de plomo y cobre en 19 suelos del valle de Aconcagua y en menor cantidad se extrajo zinc y cadmio (González, 1986).

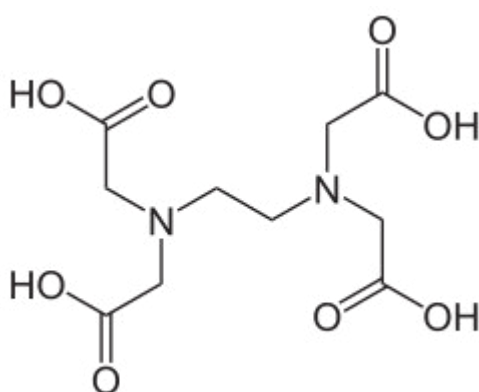


Figura 1. Ácido Etilen Diamino Tetraacético.

En un experimento con suelos agrícolas contaminados con plomo por su cercanía a zonas de actividad minera se comparó la acción de los

quelantes EDTA y EDDS (ácido etilendiamino disuccínico) y se encontró que el uso de EDTA superó al EDDS e incrementó la fitoextracción en un 60% en el cultivo de maíz y árboles de álamo (Komárek, Tlustos, Chrastny y Ettler, 2007). En otro experimento se comparó el efecto del EDTA con ácido giberélico (GA) y ácido indol acético (IAA) encontrándose que el EDTA redujo la biomasa de maíz probablemente porque incrementó la absorción de plomo a diferencia del GA y IAA y la asociación de EDTA y GA obtuvo los mayores valores de fitoextracción de plomo (Fadi, Bano y Fuller, 2010).

2.4 Visión Legal sobre suelos y aguas contaminados

A nivel internacional se tiene el sistema de clasificación nacional para lugares contaminados de Canadá – National Classification System for Contaminated Sites (NCSCS) brinda asistencia técnica y científica para identificar lugares con bajo, mediano o alto riesgo de contaminación a nivel de agua, suelo y aire; para ello, proporciona una serie de cuestionarios que ayudan a categorizar los lugares (Canadian Council of Ministers of the Environment [CCME], 2008). Este documento guía emitido en Canadá, se ha establecido como resultado de debate a nivel nacional e internacional considerando las prácticas, estándares y leyes ambientales y constituye una herramienta útil para identificar lugares contaminados que constituyan riesgo para la salud y/o el ambiente.

A nivel nacional se tienen los Estándares de Calidad Ambiental para suelos (D.S. N°011.2017 MINAM) que establecen concentraciones máximas de elementos, sustancias químicas o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el suelo en su condición de cuerpo receptor, que no presenta riesgos significativos para la salud de las personas ni el ambiente. Ello es aplicable a todo proyecto o actividad cuyo desarrollo dentro del

territorio nacional genere riesgos de contaminación del suelo. Determina la formulación de Planes de Descontaminación de Suelos al igual que una Guía para el Muestreo de Suelo. A partir de ella se diseñan y establecen la aplicación de todo tipo de políticas e Instrumentos de Gestiones Ambientales. (MINAM, 2014).

Existen disposiciones complementarias para la aplicación del estándar de calidad para suelos (D.S. N° 002-2014-MINAM) que determinan fases de estudio de la contaminación como: identificación, caracterización y remediación con un correspondiente tipo de muestreo. La fase de identificación determina la existencia de la contaminación; la de caracterización determina la extensión y profundidad del contaminante; la de remediación ejecuta actividades del Plan de Descontaminación de Suelos (PDS). También define la formulación de Estudios de Evaluación de Riesgos a la Salud y el Ambiente a partir de la fase de identificación determinados en detalle en el PDS. Además, incorpora instrumentos legales para la declaratoria de emergencias ambiental y la reducción de riesgos por sitios contaminados (MINAM, 2014).

Se tiene la Guía para el muestreo de suelos (R.M. N° 085-2014-MINAM) que permite realizar adecuados planes de muestreo, técnicas adecuadas para el muestreo, manejo de muestras, medidas de seguridad ocupacional durante el muestreo y determinación adecuada de los puntos de muestreo. En función del objetivo, la guía establece el método y tipo de muestreo además del tipo de muestras a tomar. Determina el muestreo adecuado para determinar la existencia de contaminación en el suelo, la dimensión (extensión horizontal y vertical) de la contaminación, las concentraciones de nivel de fondo y verifica si las acciones de remediación lograron reducir la concentración de los contaminantes en suelo (MINAM, 2014).

El D.S.N° 002-2014-MINAM proporciona una Guía de plan de descontaminación de suelos la cual establece lineamientos para la elaboración de Planes de Descontaminación de Suelos a partir del muestreo de detalle, el estudio de caracterización y, cuando corresponda, el Estudio de Riesgos a la Salud y el Ambiente. Provee información para la identificación de suelos contaminados, así como para determinar la magnitud de la contaminación del suelo y definir propuestas de acciones de remediación orientadas a eliminar los riesgos a la salud y el ambiente o reducirlos a aceptables. (MINAM, 2014).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1 Ubicación

La investigación de campo se realizó en seis de los grandes parques de Lima Metropolitana (figura 2) los cuales fueron: el parque Las Leyendas ubicado a 12°04'02''S, 77°05'12''O en el distrito de San Miguel, el parque Zoológico de Huachipa ubicado a 12°00'37''S, 76°52'12''O en la margen izquierda del río Rímac en el distrito de Ate Vitarte, el parque Bosque El Olivar ubicado a 12°05'57'', 77°02'05''W en el distrito de San Isidro, el parque Campo de Marte ubicado a 12°04'06''S, 77°02'29''O en el distrito de Jesús María, el parque Pentagonito ubicado a 12°06'00'', 77°01'00''O en el distrito de San Borja y el parque Kennedy ubicado a 12°07'14S, 77°01'47''O en el distrito de Miraflores. Los bioensayos se instalaron en el laboratorio de Fertilidad de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2 Unidad de Análisis

En campo, los GPLM considerados fueron Parque El Bosque El Olivar, Parque Campo de Marte, Parque Kennedy, Parque de las Leyendas, Parque Zoológico de Huachipa y Parque Pentagonito, siendo aquellos que no tenían formación antropogénica, pertenecientes a la cuenca del río Rímac y de diferentes distritos. En laboratorio se utilizaron los suelos de los parques contaminados con plomo para realizar la fitoextracción a través de bioensayos con la especie *Amaranthus caudatus*.

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera,
Metalúrgica y Geográfica
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Ing. MSc. Lily D.
Tello Peramás

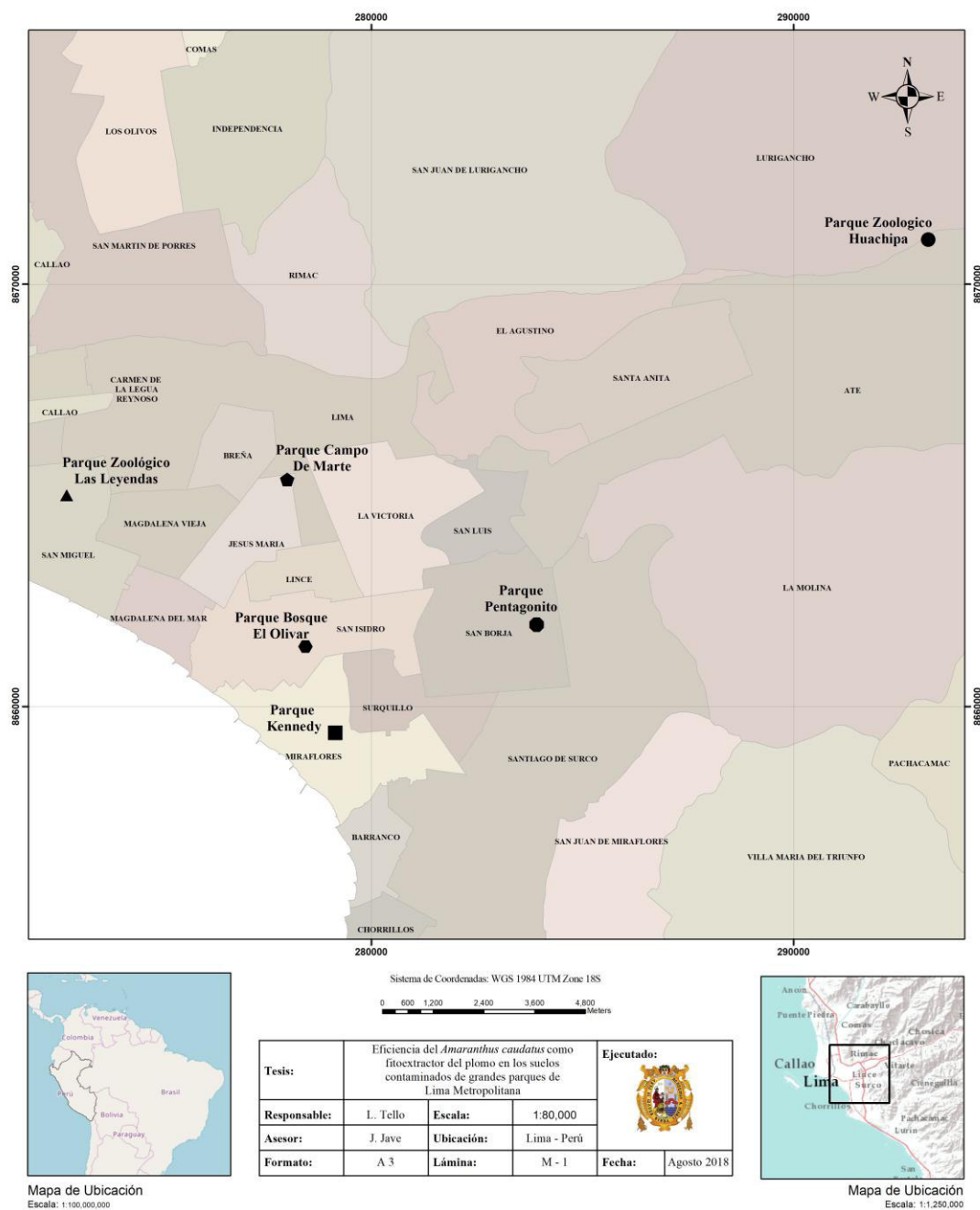


Figura 2. Mapa del Departamento de Lima con la ubicación de los seis parques.
Fuente. Elaboración propia.

3.3 Flujo de la metodología de la investigación

Cuadro 1. Flujo de la metodología de la investigación

| Fases | Actividades |
|---------------------------|---|
| Fase 1 ► | MI* y MD** en los suelos de los GPLM: Caracterización de los suelos de los GPLM |
| Muestreos | Muestreos simples y múltiples de agua de riego de los GPLM: Caracterización de las aguas de los GPLM Concentración de plomo en cada muestra de suelo y agua |
| Fase 2 ► | Ubicación con GPS de las áreas contaminadas en cada uno de los GPLM: Recolección de los 100 kg de suelos contaminados con plomo de los primeros 10 cm. |
| Instalación del Bioensayo | Preparación de las aguas de riego: Agua desionizada, agua desionizada con plomo y agua de riego con plomo. Bioensayo del 13/octubre al 29/diciembre 2016: Estadío 1: 18 de noviembre Estadío 2: 30 de noviembre Estadío 3: 29 de diciembre Análisis de plomo en los diferentes tejidos y estadíos. Muestreo de comprobación de suelos |
| Fase 3 ► | |
| Eficiencia de uso EDTA | Comparación de extracción de plomo en suelos en uso tratamientos sin y con aplicación de EDTA. |

Fuente. Elaboración propia.

*MI: Muestreo de Identificación

**MD: Muestreo de Detalle

3.3.1 Materiales y equipos

3.3.1.1 Materiales.

En campo

- 1000 bolsas ziploc 35X30 para muestreo de suelo
- Kid de protección muestreo: guantes, mandil, botas, gorro y lentes
- GPS
- Pala, pico. Wincha
- Lápices, lapiceros, plumones
- Botellas para coleccionar agua

En bioensayos

- Suelos de los GPLM cuyo contenido de plomo sobrepase los niveles del ECA determinado en el muestreo de identificación y detalle.
- Agua de riego con características físico-químicas semejante al agua de riego de los grandes parques de Lima Metropolitana.
- Agua desionizada
- Sal bisódica EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) al 99.9% de pureza de Carlo Erba Milano, código 405494.
- Semillas de *Amaranthus caudatus* variedad Centenario 99% pureza y germinación.
- Acetato de plomo al 99.5% de pureza de Sigma-Aldrich, M=379.33 g/Mol
- Fertilizantes: urea (46%N), fosfato di amonio (18%N, 46%P) y cloruro de potasio (60%K) procedentes de la casa comercial Molinos.
- 2 mesas de metal con rejillas de protección anti aves
- 72 macetas de plástico con platos, capacidad aproximada de 4 kilos
- Piceta de riego, wincha, guantes de látex, mascarilla, mandil, etc
- Balanza con aproximación de 0.1 g
- 1000 Bolsas de papel kraft 10X10 para estufa

3.3.1.2 Equipos.

En laboratorio

Espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst 200, Estados Unidos, 2005.

Estufa eléctrica marca Venticell, modelo LSIS-B2V/VC 222; System IP 20 de Estados Unidos, 2014 con temperatura máxima de 250°C.

Estufa eléctrica marca Memmert, modelo UN110, Alemana, 2015, carga máxima de 175 kg y rango de temperatura ajustable de +20 a +300°C.

Balanza eléctrica marca Ohaus, modelo Pionner, 2013, 310g de capacidad, 0.001 g de resolución, ohaus Corp. Pine Brock, NJ USA.

Balanza eléctrica con batería Sartorius CP323S, 2010, 320 g de capacidad, 0.001 g de resolución, 27 horas de uso sin recargar, Alemania.

Desionizador de agua marca Rovic, 4 l/hr

3.3.2 Metodología

Muestreos de Identificación y de Detalle

La elección de técnicas y lugares de muestreo, manejo de muestras y medidas de seguridad ocupacional, siguieron las pautas dadas en la Guía para Muestreo de Suelos (MINAM, 2014), en el marco de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para suelo.

La investigación se realizó durante el 2016 en seis de los GPLM. Al no tener conocimiento previo de la distribución del contaminante plomo en el suelo, el número mínimo de puntos de muestreo estuvo en función del área de cada parque siendo éste el Muestreo de Identificación (MI) (Cuadro 2). El objetivo fue obtener muestras representativas con el fin de determinar si el

suelo supera o no los ECA para suelos de parques (MINAM, 2017). La Guía de Muestreo de Suelos del MINAM indica que el muestreo de identificación tiene por objetivo investigar la existencia de contaminación del suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental y/o los valores de fondo de acuerdo a lo establecido en el D.S. N° 011-2017-MINAM.

Se realizó la georreferenciación en gabinete en el programa Google Earth, utilizando el sistema de coordenadas Universal Transversal Mercator (UTM) zona 18 Sur, datum World Geodetic system 1984 (WGS 84), pasando las coordenadas al GPS y siguiendo el patrón de muestreo de rejillas regulares. En campo, se realizaron correcciones, dependiendo de la accesibilidad y homogeneidad del lugar elegido. Se colectaron muestras de suelo de 150 g a 10 cm de profundidad por ser la capa de contacto oral o dermal del contaminante y se muestrearon lo más equidistantes entre ellos de acuerdo a lo georreferenciado.

El número de muestras contaminadas del muestreo de identificación determinó el número de muestreos adicionales a realizar para el muestreo de detalle (MD) (Cuadro 2); teniendo en cuenta que el número mínimo de puntos de muestreo representan el “mínimo de calidad” y por ello deberán tomarse muestras de un número igual o mayor de puntos de muestreo (MINAM, 2014). La Guía de Muestreo de Suelos del MINAM indica que el muestreo de detalle tiene por objetivo obtener muestras representativas de suelo para determinar el área y volumen (la distribución horizontal y vertical) del suelo contaminado en las áreas de interés determinadas a través de la fase de identificación.

Cuadro 2. Número de muestras para el MI y MD en función al área.

| Parque | Área (ha) | Número de muestras en MI (depende del área) | Muestras mayor a 140 ppm | Número de muestras en MD |
|------------------|-----------|---|--------------------------|--------------------------|
| Campo de Marte | 37.52 | 42 | 34 | 65 |
| Bosque El Olivar | 23.00 | 38 | 17 | 34 |
| Pentagonito | 0.50 | 6 | 1 | 6 |
| Kennedy | 2.50 | 19 | 1 | 13 |
| Las Leyendas | 98.00 | 50 | 2 | 6 |
| Huachipa | 11.00 | 33 | 10 | 44 |

Fuente. Elaboración propia siguiendo las pautas del MINAM (2014).

En el laboratorio de Fertilidad de Suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), se empleó el método de digestión ácida, para cada muestra de suelo. Se pesaron 5 g en un matraz Erlenmeyer, se adicionaron 20 ml de la mezcla ácida (solución de ácido nítrico y ácido perclórico en proporción 5:1). El matraz se colocó en la plancha de digestión por aproximadamente 2 h a una temperatura de 180 – 200 °C. Se dejó enfriar para luego transferir la muestra a una fiola y enrasar con agua desionizada a 25 ml. Se trasvasó a un tubo de ensayo y se agitó. Se tomó una alícuota de 1 ml y se adicionaron 9 ml de agua desionizada. En el laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la UNALM se leyó la concentración de plomo en un espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin Elmer, modelo AAnalyst 200, Estados Unidos, 2005. Para el control de calidad se realizaron réplicas de muestras al azar, el estándar de referencia que se utilizó fue agua pura y el límite de detección 0.1 mg kg⁻¹. La calibración el equipo se realiza utilizando estándares de plomo de 1, 2 y 3 ppm en el rango lineal.

Determinación de las Características de los Suelos

En cada parque se realizaron muestreos simples en profundidad de 0-10 cm de 20 g cada una formando una muestra compuesta. El patrón de muestreo fue rejillas regulares. Las seis muestras compuestas se secaron al aire y se pasaron por un tamiz de malla de 2 mm. Se determinaron (Anexo 8): Textura con el método del hidrómetro y las lecturas de las partículas en suspensión se realizaron con el hidrómetro de Bouyoucos. Conductividad eléctrica (CE) en extracto de saturación, a 100 g de suelo se le añadieron 20 ml de agua desionizada, se removió y se agregó más agua a cada muestra hasta llegar a saturación. Finalmente, con un sistema de vacío se realizó la extracción del líquido y la CE se midió con un conductímetro. También se midió directamente en el suelo luego de 30 minutos del riego. Ambas medidas se realizaron con el equipo Electrical Equipment for Measurement, Control, and Laboratory Use de Fieldscout Item 2265FS y solución estándar 2764 uS/cm. Capacidad de intercambio catiónico (CIC), mediante el extracto con acetato de amonio 1N pH 7 (Jackson, 1964). Para el pH se hizo una mezcla suelo-agua (relación 1:1) que se agitó y dejó en reposo por 10 minutos, la medición se realizó con el pH-metro Soil Stik de Fieldscout 2105. La materia orgánica fue determinada por el método de Walkley y Black (1934). Los equipos usados están ubicados en el Laboratorio de análisis de suelos, plantas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Determinación de las Características del Agua

En el agua de riego de los GPLM se realizaron muestreos simples y múltiples (cuadro 15) del agua de riego que se utiliza en cada uno de los GPLM para determinar su contenido de plomo; también se determinó el contenido de cationes (calcio, magnesio, potasio y sodio) y aniones (nitratos, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros) en me L^{-1} . En cada parque se realizaron observaciones directas en campo a fin de verificar la(s) fuente(s) de agua de riego. En función a los resultados de contenido de plomo en los

suelos, se midió el caudal del agua de riego en los parques Campo de Marte, Zoológico de Huachipa, Las Leyendas y Pentagonito.

En bioensayos

El bioensayo se ejecutó en el laboratorio de fertilidad del suelo de la UNALM, la fecha de instalación fue el jueves 13 de octubre del 2016. Se tuvieron veinte y cuatro tratamientos desagregados en tres factores: 4 suelos de GPLM; 3 aguas y 2 niveles de EDTA; teniéndose un tamaño (n) de 72 unidades experimentales.

En cada parque contaminado se procedió a ubicar los suelos contaminados con plomo; se extrajeron 100 kilos de suelos aproximadamente de los primeros 10 centímetros. Se procedió a homogenizar los suelos, se llenaron macetas de capacidad de cuatro kilos. La cantidad de suelo usado para el parque Campo de Marte, Bosque El Olivar, Zoológico de Huachipa y Leyendas fue 2, 3.2, 2.4 y 2.35 kilogramos respectivamente; las macetas fueron ubicadas sobre mesas de metal con protección anti aves y se procedió a añadir los fertilizantes ($1/2$ N, todo el P y K) y $1/2$ EDTA en función a la cantidad de suelo de cada parque para luego realizar la siembra de las semillas del *Amaranthus caudatus*, al mes se completó la dosis de N y EDTA. Se sembraron 5 semillas equidistantes por cada maceta.

El agua de riego usada provino de Huachipa y se le añadió acetato de plomo para que su nivel llegue a 0.1 ppm de Pb, que equivale al nivel más alto encontrado en los análisis de aguas de riego de los 4 GPLM.

En función a las etapas fenológicas del cultivo se realizaron evaluaciones en 3 etapas de crecimiento. La primera etapa fue el 18 de noviembre del 2016 que corresponde a la etapa inicial vegetativa, es decir a

los 36 días; por la poca cantidad de muestra se juntó toda la parte foliar para realizar el análisis de contenido de plomo en tejido. La segunda etapa de crecimiento fue el 30 de noviembre del 2016, a los 48 días y corresponde a la etapa vegetativa final; se separaron las hojas del tallo y la tercera etapa de crecimiento fue el 29 de diciembre del 2016, a los 77 días y que corresponde a la etapa reproductiva, donde se separaron hojas, tallos, inflorescencia y raíces.

La parte aérea (foliar, tallo e inflorescencia) fue enjuagada tres veces en agua fría y secado entre dos capas de papel filtro. En el caso de las raíces, fueron lavadas con agua fría por cinco minutos, enjuagadas con agua desionizada y secadas con papel filtro. Se llevaron a estufa hasta obtener la materia seca y se tomó el peso; finalmente, teniendo la materia seca, se procedió a moler cada una de las muestras para luego digerirlas y posteriormente seguir el método de LABs-ITP F.Q.007-09, 2009 para obtener la concentración total de plomo en ppm.

Luego de la fitoextracción realizada por *Amaranthus caudatus*, se realizó el análisis de plomo en cada uno de las 72 unidades de suelos el cual fue considerado el muestreo de comprobación ya que la comprobación de la remediación está en función de la técnica utilizada; este muestreo tiene como objetivo demostrar que la fitoextracción realizada en un suelo contaminado alcanzó de forma estadística demostrable, concentraciones menores o iguales a los valores establecidos en el ECA suelos (D.S. N°002-2014-MINAM).

Cuadro 3. Diseño Experimental del bioensayo.

| Tratamiento | Parque | Calidad de Agua | EDTA (g Kg ⁻¹) |
|-------------|-----------------------|------------------|-------------------------------|
| T1 | Campo de Marte | Desionizada | 0 |
| T2 | Campo de Marte | Desionizada + Pb | 0.5 |
| T3 | Campo de Marte | Huachipa + Pb | 0 |
| T4 | Campo de Marte | Desionizada | 0.5 |
| T5 | Campo de Marte | Desionizada + Pb | 0 |
| T6 | Campo de Marte | Huachipa + Pb | 0.5 |
| T7 | Bosque El Olivar | Desionizada | 0 |
| T8 | Bosque El Olivar | Desionizada + Pb | 0.5 |
| T9 | Bosque El Olivar | Huachipa + Pb | 0 |
| T10 | Bosque El Olivar | Desionizada | 0.5 |
| T11 | Bosque El Olivar | Desionizada + Pb | 0 |
| T12 | Bosque El Olivar | Huachipa + Pb | 0.5 |
| T13 | Zoológico de Huachipa | Desionizada | 0 |
| T14 | Zoológico de Huachipa | Desionizada + Pb | 0.5 |
| T15 | Zoológico de Huachipa | Huachipa + Pb | 0 |
| T16 | Zoológico de Huachipa | Desionizada | 0.5 |
| T17 | Zoológico de Huachipa | Desionizada + Pb | 0 |
| T18 | Zoológico de Huachipa | Huachipa + Pb | 0.5 |
| T19 | Las Leyendas | Desionizada | 0 |
| T20 | Las Leyendas | Desionizada + Pb | 0.5 |
| T21 | Las Leyendas | Huachipa + Pb | 0 |
| T22 | Las Leyendas | Desionizada | 0.5 |
| T23 | Las Leyendas | Desionizada + Pb | 0 |
| T24 | Las Leyendas | Huachipa + Pb | 0.5 |

Fuente. Elaboración propia.

3.4 Análisis estadístico

En los muestreos de identificación y detalle, se utilizaron tres pruebas estadísticas. La data de los parques CM, BO, PZH, PLL y Kennedy fue normal y con homogeneidad de varianzas; por ello, se utilizaron la Prueba T para una muestra para los parques con un número de muestreos menor a 40 (Kennedy, Pampa Galera de PLL y Bosque de Aves del PZH), donde si $T_{\text{práctico}} < T_{\text{crítico}}$ no existen diferencias significativas (Anexo 1) y la Prueba Z para los parques cuyo número de muestreos fue mayor a 40 (CM,BO, PLL excepto la zona de Pampa Galera y PZH excepto la zona de Bosque de Aves) donde los valores de $Z_{0.025}$ fueron -1.96 y 1.96; se comparó p con α (0.05), donde si $p < \alpha$ existen diferencias significativas. El valor de prueba fue 140 ppm de plomo total que corresponde al límite máximo permisible por los ECA de suelos 2017. En el caso de los parques Zoológico de Huachipa (PZH) y Las Leyendas (PLL) los valores de plomo total en suelos se dividieron de dos grupos focalizados por espacios continuos, con eventos peculiares como ex laguna en el PLL y zona inundable en el PZH y por las marcadas diferencias respecto al límite máximo permisible de 140 ppm. En el parque Pentagonito la data no se ajustó a la normalidad por lo que se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon (Anexo 2).

Se utilizó la interpolación geoestadística (kriging) para realizar los mapas y así se hicieron predicciones de datos a través de métodos estadísticos. Esta interpolación tiene en cuenta la variación entre las distancias entre los datos, y también toma en cuenta la variación con la dirección, por lo que es bastante usado en el tratamiento de datos de las ciencias del suelo (Anexo 3).

En el **bioensayo** se realizaron dos análisis estadísticos; un **ANOVA de 3X2** con los datos de peso seco ya que los resultados se ajustan a la

normalidad y homogeneidad de varianzas a diferencia de los resultados de concentración de plomo en tejidos de *Amaranthus caudatus* con los que se usó la prueba de **kruskal wallis**.

Con la data del **muestreo de comprobación** se utilizó la **prueba T** para una muestra en los parques CM, PZH y PLL debido a que cada parque tuvo una data de 18 valores y porque se ajustó a la normalidad y con homogeneidad de varianzas; el valor de la prueba de cada parque el contenido de plomo al inicio del bioensayo. En el parque BO se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon porque los datos no se ajustaron a la normalidad.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados

4.1.1 *Muestreos de identificación y detalle de los suelos de los GPLM.*

En el caso particular de los PLL y PZH (Figuras 3 y 4) se encontró que la mayoría de los valores que sobrepasan el máximo permitido (140 ppm) se encontraban focalizados. En Las Leyendas, el área contaminada fue la zona de “Pampa Galeras” (media de 234.47 ppm de Pb total) en un espacio de ocho hectáreas, corresponde a una depresión que por los años de 1730 era un estanque de agua de la Hacienda Maranga y que fue el último lugar donde desembocaba el agua del canal Huatica (Narváez, 2014), siendo hasta el año 2009 un lecho de laguna antigua y luego al desaparecer el agua quedaron los sedimentos depositados desde la época colonial lo que podría explicar el alto valor de plomo total presente en los suelos (Cuadro 4). En el Zoológico de Huachipa, la zona de bosque de aves tiene una extensión aproximada de 0.7 ha, y la prueba T indica diferencias significativas donde $T_{práctica} > T_{crítica}$ (media de 266.41 ppm de Pb total), es decir, se tiene contaminación con plomo lo cual podría ser por los sedimentos dejados por el agua del río Rímac en época de avenida cuando se desborda e inunda la zona de bosque de aves depositando sedimentos; además, se encontró que los suelos que colindan con el surco

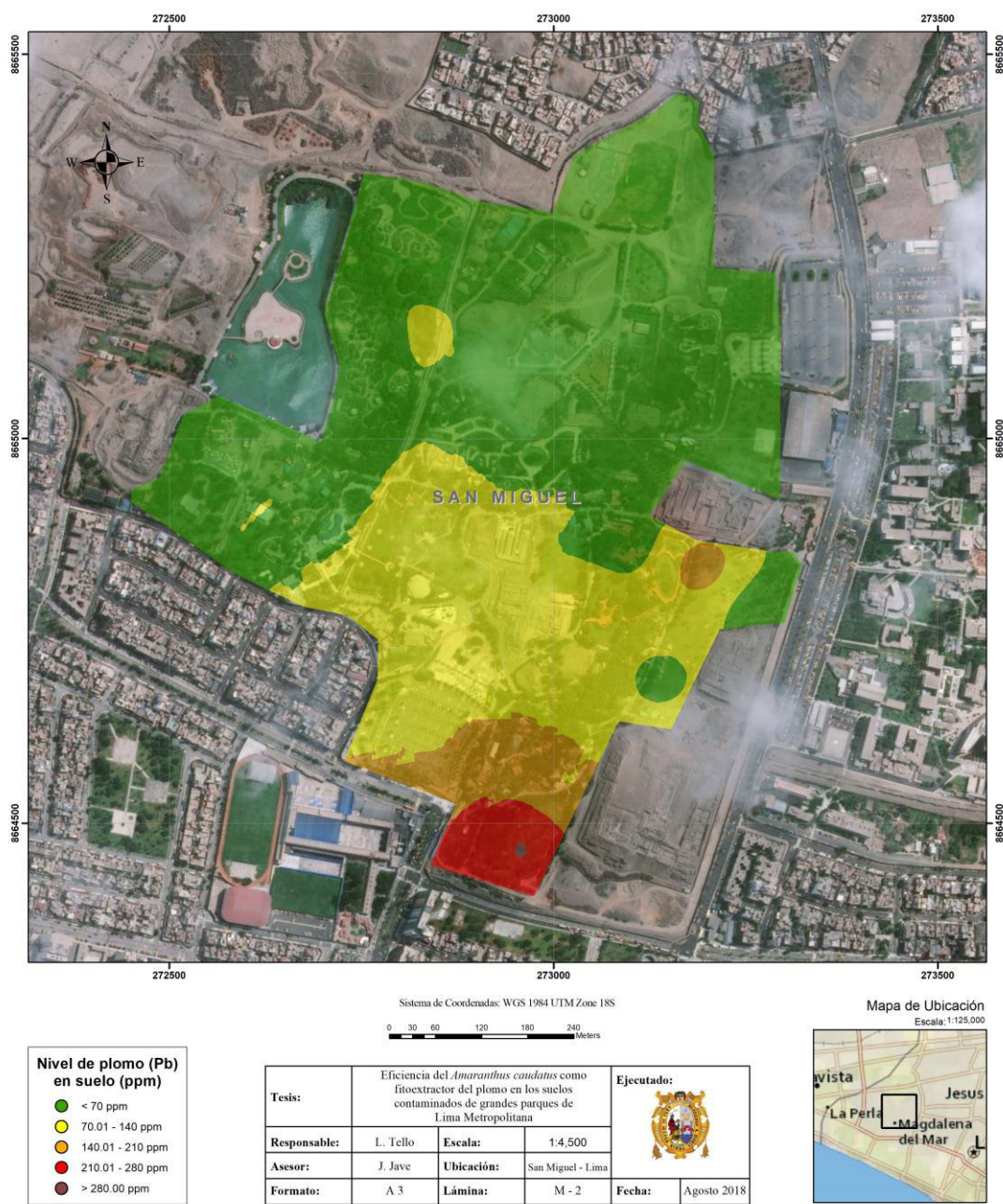


Figura 3. Nivel de plomo en los suelos del Parque Las Leyendas.

por donde pasa el agua del río Rímac bajo la jurisdicción de la junta de regantes, presentan contaminación, mientras que el resto del parque que se riega con sistema de goteo/aspersión no tiene contaminación probablemente porque los sedimentos no pasan por los sistemas de riego.

En ambos parques la dinámica de la contaminación se explica porque el plomo se encuentra en los sedimentos transportados por el agua ya que el plomo no es soluble en agua; los sedimentos que se quedan en los suelos de los parques son los que podrían estar causando la contaminación, concordando con los resultados obtenidos con Moronta-Riera & Riverón-Zaldivar (2016). En el resto de área de los parques Huachipa y Leyendas donde $p < \alpha$ y $Z_{\text{crítico}}$ es negativo, lo que indica que no hay contaminación de plomo en los suelos (cuadro 5). En ambos parques los suelos son irrigados con agua de pozo.

En el parque Kennedy ($T_{\text{práctico}} < T_{\text{crítico}}$), el nivel de plomo en los suelos también está por debajo de los límites permisibles de 140 ppm (MINAM, 2017) indicando este resultado que no hay contaminación de plomo en los suelos.

Cuadro 4. Prueba “T” para una muestra con valor de prueba = 140 ppm Pb de las concentraciones totales de plomo en los suelos de los GPLM y Prueba Wilcoxon para el parque Pentagonito.

| | Media | | | | Sig |
|--------------------|--------|-----------------------|----------------------|----|-------------|
| | ppm Pb | $T_{\text{práctico}}$ | $T_{\text{crítico}}$ | n | (bilateral) |
| Pentagonito | 159.15 | | | 12 | 0.004 |
| Kennedy | 55.52 | -25.89 | 2.04 | 32 | 0.000 |
| Pampa Galera-PLL | 234.47 | 3.433 | 2.45 | 7 | 0.014 |
| Bosque de Aves-PZH | 266.41 | 5.436 | 2.14 | 15 | 0.000 |

Fuente. Elaboración propia (anexo 1); n: Tamaño muestral; $T_{\text{práctico}}$: encontrado con los datos experimentales; $T_{\text{crítico}}$: obtenido en tabla.

Facultad de Ingeniería Geológica, Minera,
Metalúrgica y Geográfica
Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Ing. MSc. Lily D.
Tello Peramás

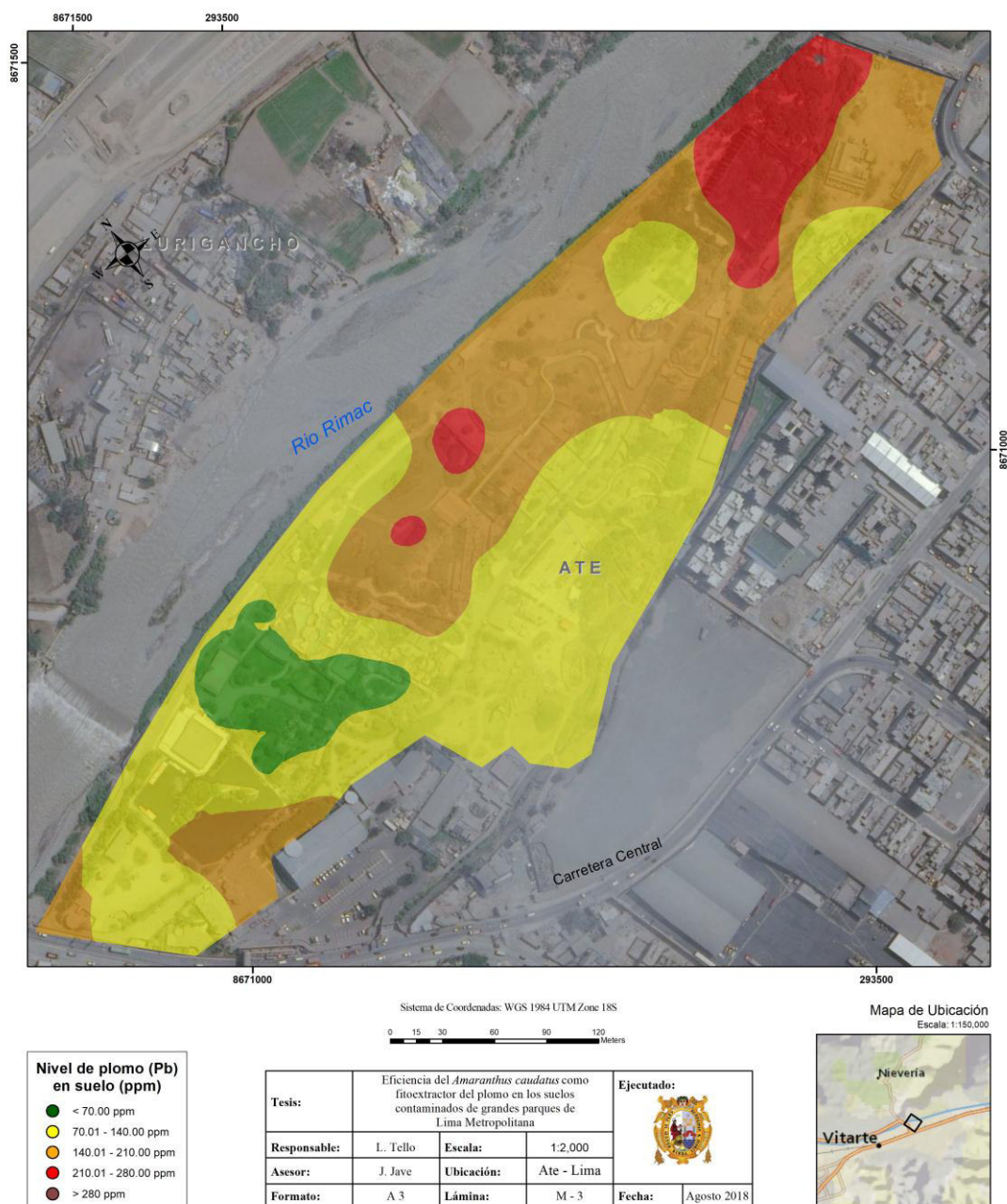


Figura 4. Nivel de plomo en los suelos del Parque Zoológico de Huachipa.

Cuadro 5. Prueba “Z” para un valor crítico entre -1.96 y 1.96, con valor de prueba = 140 ppm Pb de las concentraciones totales de plomo en los suelos de los GPLM.

| | Media | | | p |
|-------------------|--------|-----------------------|-----|-------------|
| | ppm Pb | Z _{práctico} | N | (bilateral) |
| Campo de Marte | 225.59 | 10.21 | 107 | 0.000 |
| Bosque El Olivar | 169.96 | 3.77 | 72 | 0.000 |
| De Las Leyendas | 56.35 | -29.53 | 49 | 0.000 |
| Zool. de Huachipa | 78.43 | -11.12 | 62 | 0.000 |

Fuente. Elaboración propia; n: Tamaño muestral; Z_{práctico}: encontrado con los datos experimentales; p es el estadístico de la muestra que se compara con α .

La prueba Z en las muestras de suelos para los parques Campo de Marte y Bosque El Olivar así como prueba no paramétrica de Wilcoxon para el parque Pentagonito, resultaron con diferencias significativas, es decir, se encuentran contaminados con plomo; esto puede haber ocurrido por su exposición durante décadas al combustible como ha sido reportado por Laidlaw *et al.* (2017). Arosquipa *et al.* (2013) observaron que el contacto de los seres vivos con estos suelos constituye un riesgo a la salud ya que este elemento pesado no cumple una función biológica y no se metaboliza.



Figura 5. Nivel de plomo en los suelos del Parque Kennedy

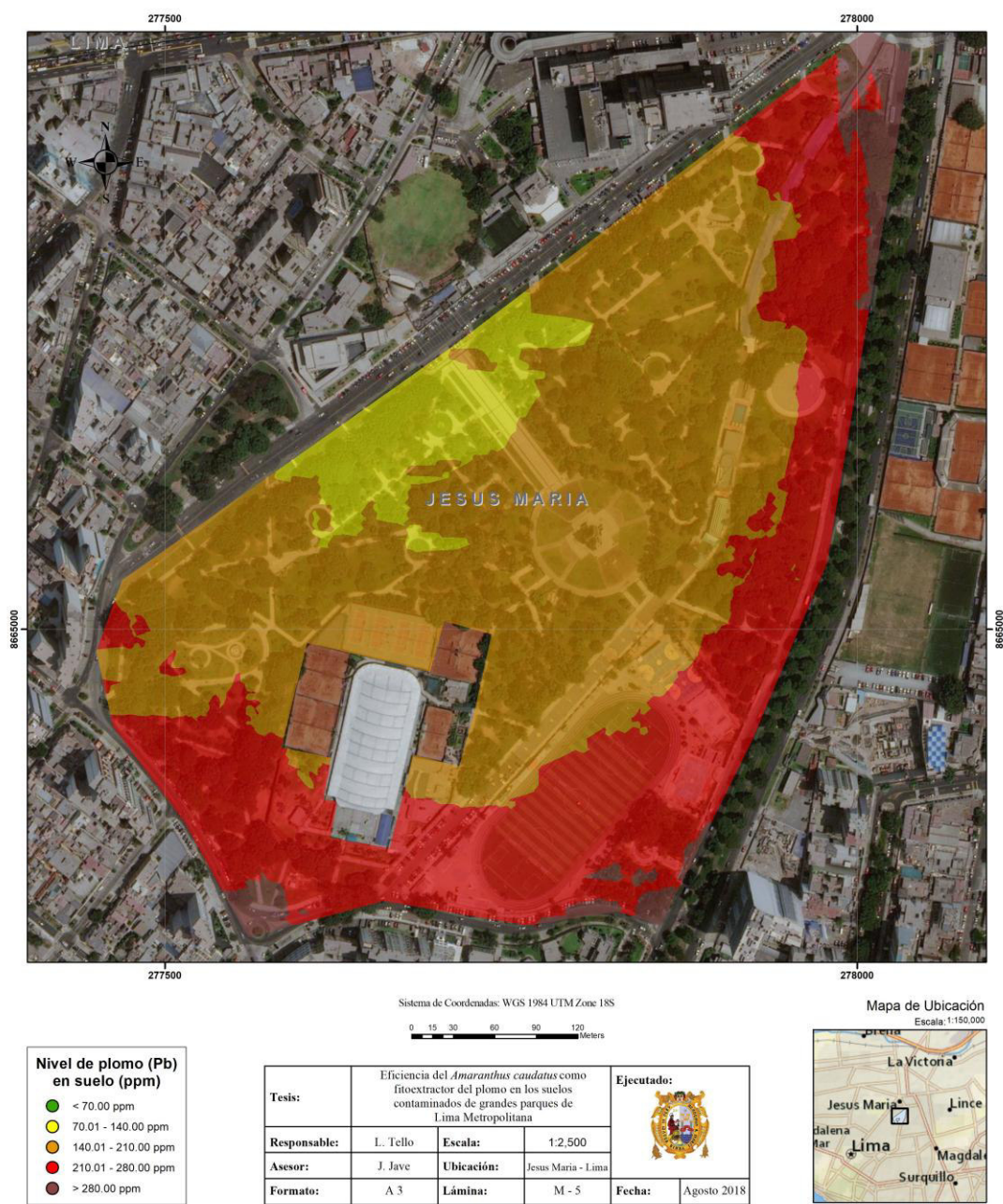


Figura 6. Nivel de plomo en los suelos del Parque Campo de Marte

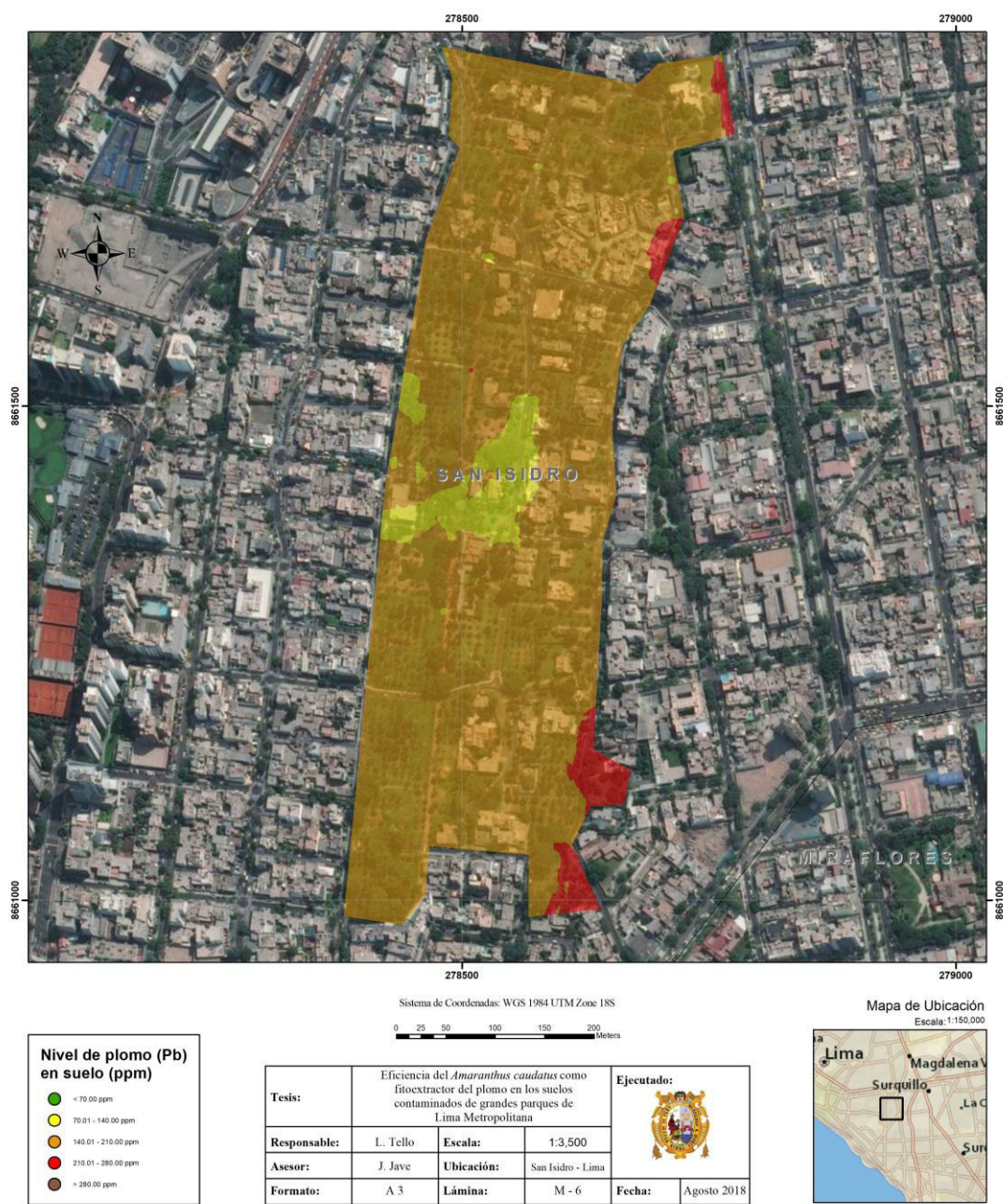


Figura 7. Nivel de plomo en los suelos del Parque Bosque El Olivar.



Figura 8. Nivel de plomo en los suelos del Parque Pentagonito.

Al observar la figura 6 vemos que la zona más contaminada con plomo (color rojo= 210 a 280 ppm de Pb) del parque Campo de Marte corresponde a la que colinda con la Avenida Salaverry ratificándose con esta información que fueron los gases de los vehículos quienes han ocasionado esta contaminación e incluso son los extremos salientes del parque y que colindan con óvalos los que presentan una contaminación mayor a 280 ppm de Pb.

Las figuras 7 y 8 correspondientes a los parques Bosque El Olivar y Pentagonito indican una contaminación por plomo entre 140 y 210 ppm. En ambos parques la contaminación es homogénea ya que la circulación vehicular es constante. El parque Bosque El Olivar es atravesado por distintas avenidas lo que se interpreta como una contaminación ocasionada por los gases de los vehículos, en adición se tienen casas desde la época colonial por lo que la pintura de esas viviendas podría haber contribuido con la contaminación de los suelos coincidiendo con lo reportado por Madejón en 2002 y Seoáñez en 1999.

La textura de los seis parques fue franco arenoso con ligeras variaciones en el porcentaje de arcilla mientras que el contenido de materia orgánica estuvo entre 2 y 4% a excepción del suelo de Campo de Marte con 11.31% y Zoológico de Huachipa con 9.19% de materia orgánica; suelos con mayor contenido de arcilla generalmente tienen mayor capacidad de intercambio catiónico (CIC) y mayor adsorción de plomo, la fracción materia orgánica puede incrementar la capacidad de cambio tal como encontraron He *et al.*, en 2017. Los suelos del Campo de Marte tienen el mayor contenido de arcillas, materia orgánica y CIC por lo que su adsorción de plomo debe ser mayor a pesar de que su clase textural sea semejante a los suelos de los otros parques. La actividad del plomo tiene relación directa con el pH de los suelos ya que al disminuir el pH disminuye la interacción del plomo con el suelo y aumenta la solubilidad influyendo en los procesos de adsorción y desorción tal como reportan Amari *et.al.* en el 2017; el suelo del parque Pentagonito tuvo el mayor valor de pH por lo que se podría asumir existe una menor solubilidad

del plomo a diferencia de los suelos del parque Zoológico de Huachipa que tuvo el menor valor de pH (Cuadro 6).

La conductividad eléctrica también se realizó en extracto de saturación y con lecturas directo al suelo luego de 30 minutos de riego. Los valores de CE en extracto de saturación mostraron incrementos entre 0.5 y 1.0 unidades mientras que los valores de CE medidos directo al suelo mostraron incremento entre 0.3 y 0.6 unidades. Los resultados indican que los suelos del parque Las Leyendas son moderadamente salinos y los del parque Zoológico de Huachipa son ligeramente salinos mientras que Bosque El Olivar y Pentagonito son muy ligeramente salinos. Solano en el 2005 indicó que los valores de CE normalmente tienen una correlación directa con el contenido de plomo en los suelos.

Cuadro 6. Caracterización de los suelos de los GPLM.

| Parque | % arcilla | pH (1:1) | Materia Orgánica (%MO) | C.E(1:1) dS/m | Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) cmol _c kg ⁻¹ |
|-----------------------|-----------|----------|------------------------|---------------|---|
| Campo de Marte | 13 | 7.47 | 11.31 | 0.59 | 30.68 |
| Bosque El Olivar | 9 | 7.06 | 3.67 | 8.40 | 16.8 |
| Pentagonito | 10 | 8.19 | 2.76 | 2.37 | 11.2 |
| Kennedy | 11 | 7.49 | 2.67 | 1.01 | 15.52 |
| Las Leyendas | 7 | 7.5 | 3.68 | 13.35 | 16.32 |
| Zoológico de Huachipa | 9 | 6.78 | 9.19 | 3.86 | 25.60 |

Fuente. Elaboración propia a partir de los resultados de análisis de suelos

4.1.2 Muestreos simples y múltiples de agua de los suelos de los GPLM y caudal de agua de riego.

De los 6 parques estudiados sólo en el Parque Kennedy no se tomaron muestras de agua de riego ya que este no presentaba contaminación en sus suelos.

Cuadro 7. Caudal, frecuencia de riego y cantidad de plomo incorporado por año a los suelos de los GPLM vía riego.

| Parque | Caudal (l/seg) | Tipo de riego | Horas de riego/ semana | Concentración media de plomo (ppm) | Incorporación de plomo (g) al suelo/ año |
|-----------------------|-------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--|--|
| Campo de Marte | 32.45 | Canales | 6 | 0.022 | 0.800 |
| Bosque El Olivar | -- | Aspersión | | 0 | 0 |
| Las Leyendas | 0.15 | Aspersión | 12 | 0.037 | 0.012 |
| Zoológico de Huachipa | 0.084 | Aspersión | 10 | 0.06 | 0.009 |
| Pentagonito | 0.12 | Cisterna (340 m ³) | 1.5 | 0.009 | 0.0003 |

Fuente. Elaboración propia con los análisis realizados en el LASPAF-UNALM y medición de caudal en campo.

Los resultados calculados en el cuadro 7 indican una incorporación máxima anual de plomo a los suelos vía agua de riego de hasta 0.8 gramos para el Campo de Marte; es decir, el agua de riego no es un factor de contaminación de plomo en los suelos de los GPLM coincidiendo estos resultados con lo reportado por Xu *et al.*, por lo que probablemente en el caso del Campo de Marte sean los sedimentos arrastrados y depositados por el agua de riego los que incrementan el contenido de plomo en sus suelos; algo

semejante podría estar ocurriendo en la zona del Bosque de Aves del Parque Zoológico de Huachipa en los períodos de avenida del río Rímac.

4.1.3 Resultados del bioensayo.

Los resultados obtenidos se han separado en obtención de peso seco de tejidos y concentración de plomo en los diferentes tejidos de la planta *Amaranthus caudatus* en tres etapas de crecimiento y desarrollo. Los suelos de cada uno de los parques estudiados son considerados como unidades independientes por lo que las evaluaciones y análisis estadísticos se realizaron por separado para luego compararlos.

Peso seco

En el anexo 5 se tienen los resultados de normalidad y homogeneidad de varianzas; en el anexo 6 se muestran las diferencias estadísticas de los ANOVAS realizados a los cuatro parques y en las tres etapas de crecimiento y desarrollo del *Amaranthus caudatus*. Todas las interacciones de calidad de agua con niveles de EDTA son significativas para los parques CM y PZH y en casi todas para los parques BO y PLL.

En el parque Campo de Marte al usar agua de riego se obtuvo el valor más alto de peso seco probablemente por la presencia de nutrientes disponibles que no se encuentran interactuando con otros elementos en el suelo como el cobre. Hubo un mejor resultado al no aplicar EDTA tal vez porque el alto contenido de materia orgánica (11.3%) fue suficiente para que sea eficiente la absorción de nutrientes (Figura 9). En la curva de crecimiento se aprecia un valor máximo de crecimiento entre los 48 y 77 días coincidiendo con lo obtenido por Mapes *et al* (1995) quienes evaluaron el crecimiento y

desarrollo en tres razas de *Amaranthus* encontrando un valor máximo de asimilación entre los 45 y 78 días. En los suelos del parque Campo de Marte *Amaranthus caudatus* presentó una alta defoliación y un color amarillento debido por el alto contenido de cobre causando en los suelos que le ocasionó problemas de toxicidad (Figura 10) lo cual coincidiría con lo reportado por González en 1986.

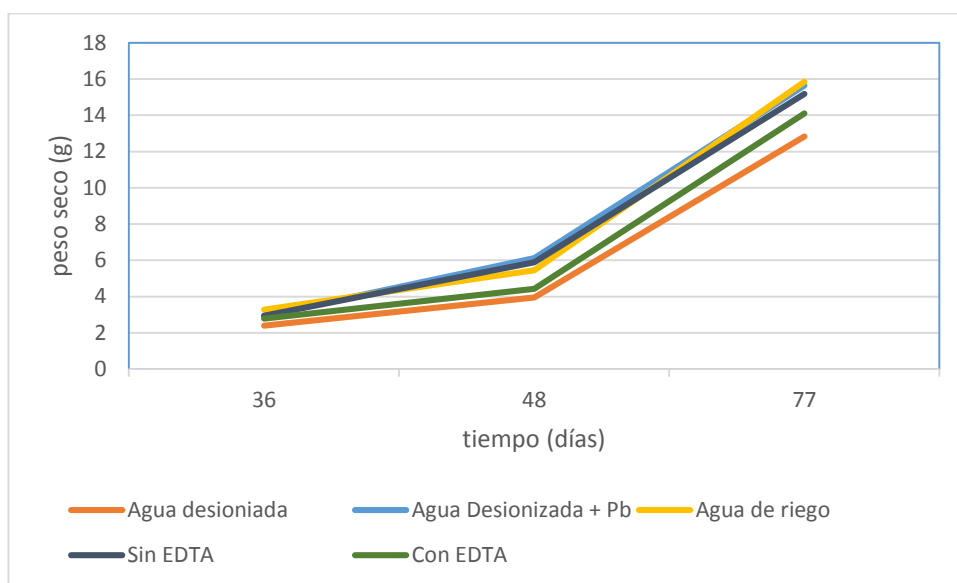


Figura 9. Pesos secos de *Amaranthus caudatus* en las tres etapas de crecimiento y desarrollo en el parque Campo de Marte. Elaboración propia.



Figura 10. *Amaranthus caudatus* en suelos de Campo de Marte.

En los suelos del parque Bosque El Olivar, en las primeras etapas de desarrollo se tuvieron los mayores valores de peso seco al usar agua desionizada y en la tercera etapa de desarrollo el uso de agua desionizada con plomo resultó mejor debido a la presencia de sales en los suelos ($CE = 8,4 \text{ dSm}^{-1}$). El efecto del EDTA fue similar al parque CM (Figura 11). *Amaranthus caudatus* tuvo un color verde oscuro, se observó una menor defoliación y una altura promedio de 90 centímetros (Figura 12).

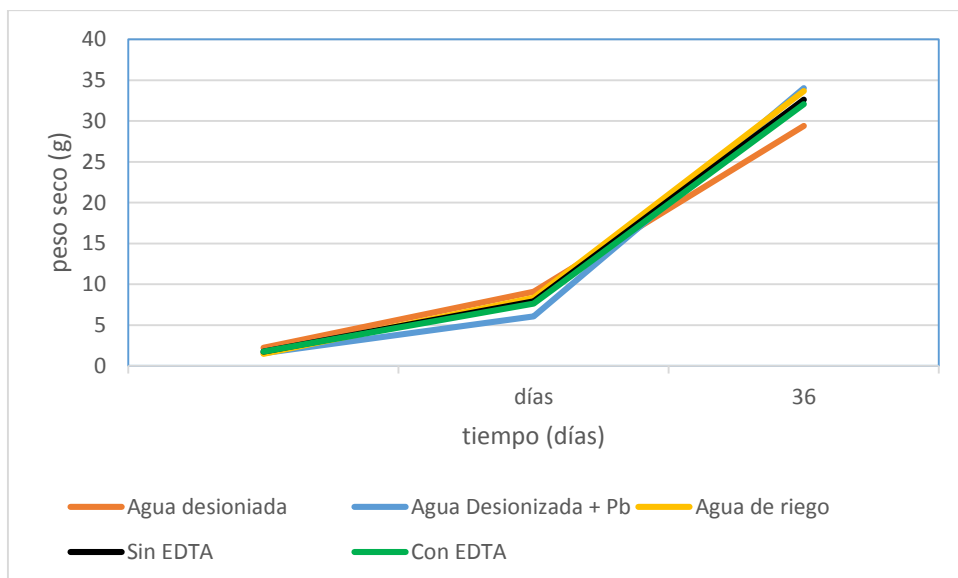


Figura 11. Pesos secos de *Amaranthus caudatus* en las tres etapas de crecimiento y desarrollo en el parque Bosque El Olivar. Elaboración propia.



Figura 12. *Amaranthus caudatus* en suelos de Bosque El Olivar.

En los suelos del parque Zoológico de Huachipa las plantas de *Amaranthus caudatus* tuvieron el mayor crecimiento y desarrollo logrando una altura promedio de 120 centímetros (figura 13); es decir, las características de los suelos fueron más adecuadas. En la primera etapa el agua de riego permitió un mejor desarrollo y luego los mayores valores se obtuvieron al usar agua desionizada con plomo; además, se tuvieron los mayores valores de peso seco sin EDTA al inicio del desarrollo y con EDTA en la tercera etapa de desarrollo tal vez por la mayor conductividad eléctrica del suelo que afecta más a las plántulas que a plantas más grandes y el menor contenido de materia orgánica (Figuras 14) lo cual coincide con lo encontrado por Dos-Santos, *et. al* (2017).



Figura 13. *Amaranthus caudatus* en suelos de Zoológico de Huachipa.

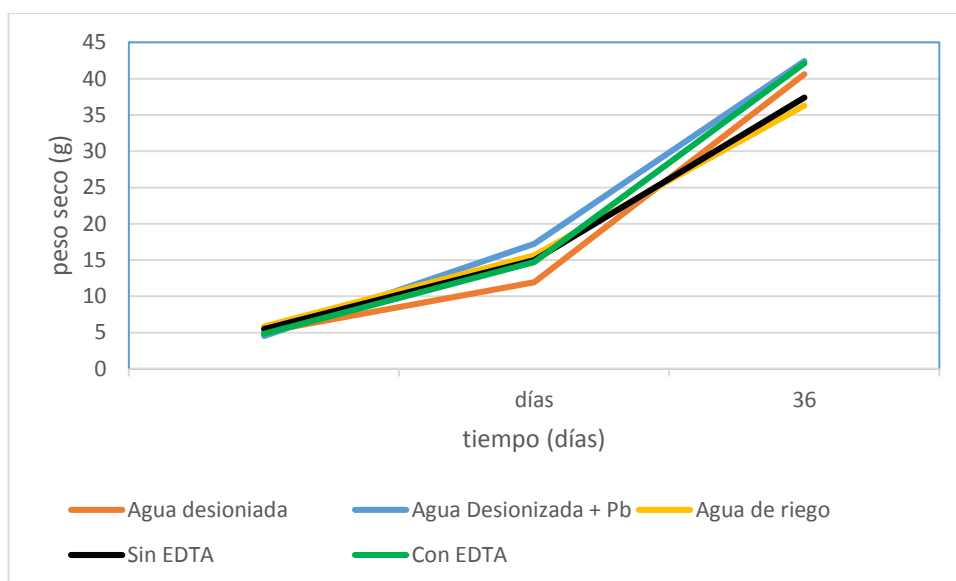


Figura 14. Pesos secos de *Amaranthus caudatus* en las tres etapas de crecimiento y desarrollo en el parque Zoológico de Huachipa. Elaboración propia.

En el parque Las Leyendas en un inicio resultó mejor el agua desionizada con plomo (Figura 15) tal vez por la salinidad del suelo y porque el plomo del agua logró pasar elementos del complejo arcillo húmico del suelo a la solución suelo, con ello aumenta la salinidad por lo que luego el agua desionizada obtuvo mejor resultado, en este parque el uso de EDTA permitió una mayor materia seca al ayudar en la mayor absorción de nutrientes ya que el suelo fue salino ($CE = 13,35 \text{ dSm}^{-1}$). El tamaño de las plantas de *Amaranthus caudatus* fue alrededor de 65 centímetros; es decir, bajo las condiciones extremas de salinidad las plantas tuvieron limitaciones en el crecimiento y desarrollo (Figura 16) tal como reportan Dos-Santos *et.al* (2017).

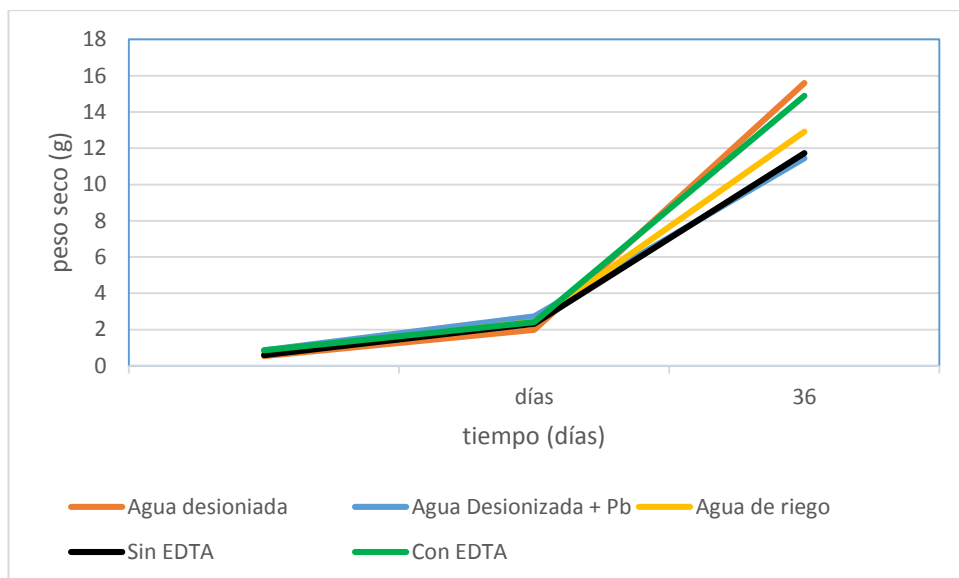


Figura 15. Pesos secos de *Amaranthus caudatus* en las tres etapas de crecimiento y desarrollo en el parque Las Leyendas. Elaboración propia.



Figura 16. *Amaranthus caudatus* en suelos del Parque Las Leyendas.

De los 4 parques estudiados, fue el PZH (100%) el que obtuvo el mayor peso seco (PS) aéreo y tuvo mayor altura (120 cms) seguido del BO con un 81% del PS y altura de 90 cms; mientras que los parques CM y PLL tuvieron menores valores de peso seco (37 y 34% respectivamente) y altura, 80 y 70 cms respectivamente (Figura 17). El suelo del PLL tuvo un mayor contenido de sales ($13,35 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) lo cual limitó un óptimo crecimiento y desarrollo de las plantas en general coincidiendo con lo encontrado por Batista *et al*, en el 2017. El suelo del parque CM tuvo un exceso de cobre (3900 ppm) por lo que hubo toxicidad ya que las hojas tuvieron un color amarillento evidenciando clorosis en hojas viejas y una mayor defoliación. En los suelos de los parques Bosque El Olivar y PZH se tuvieron los mayores valores de peso seco ya que las características de los suelos permitieron un adecuado crecimiento y desarrollo; en el caso BO tuvo un contenido de $8,4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ pero al ser el *Amaranthus caudatus* resistente a sales, pudo crecer y desarrollar normalmente. En las figuras 18, 19 y 20 se observa el crecimiento y desarrollo de *Amaranthus caudatus* en los suelos de los cuatro parques y en las tres etapas de crecimiento y desarrollo; desde la primera etapa es notorio el lento crecimiento en suelos del parque Las Leyendas, el color amarillento en suelos del Campo de Marte y el mayor crecimiento y desarrollo en suelos del Zoológico de Huachipa por las características propias de cada suelo.

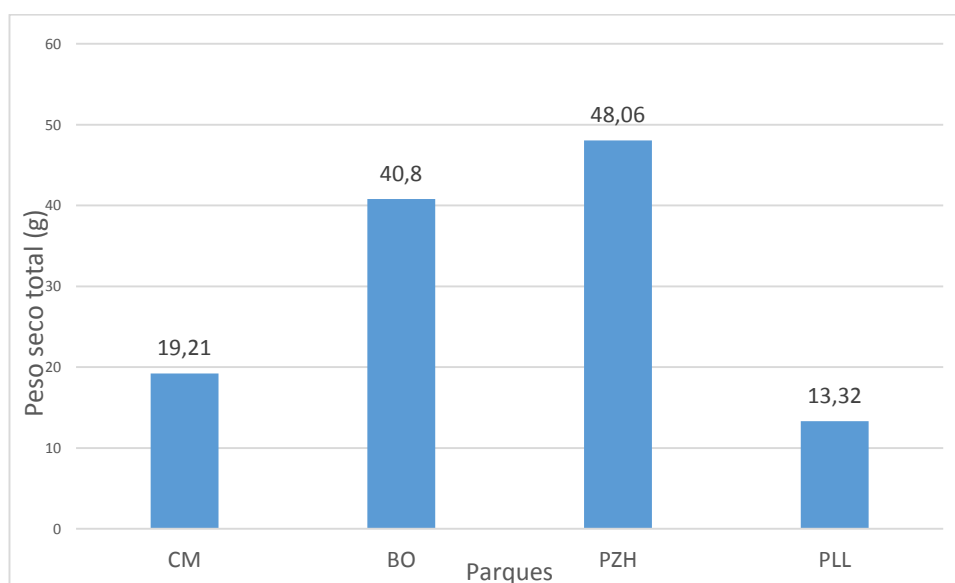


Figura 17. Peso seco total de la tercera etapa de crecimiento y desarrollo en los cuatro parques. Elaboración propia.



Figura 18. Primera etapa de crecimiento y desarrollo, 17/noviembre/2016



Figura 19. Segunda etapa crecimiento y desarrollo, 29/noviembre/2016

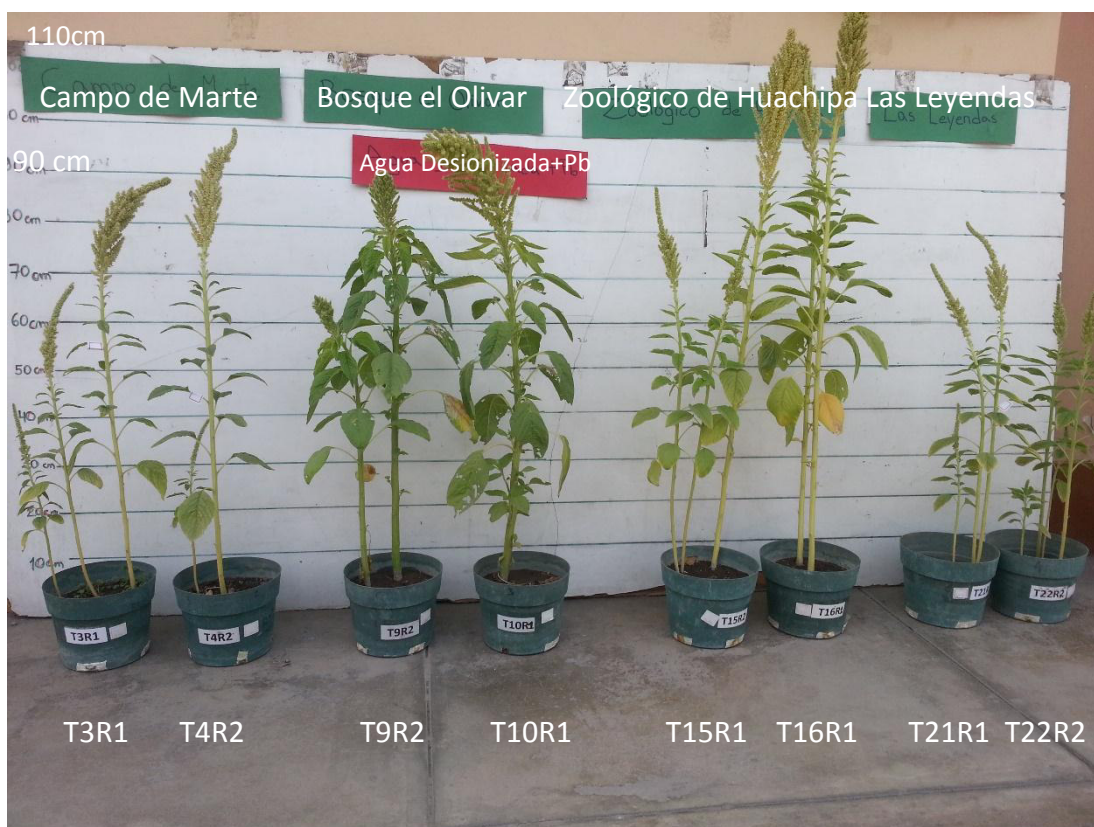


Figura 20. Tercera etapa de crecimiento y desarrollo, 29/diciembre/2016

Concentración de plomo en tejido vegetal

En el anexo 7 se muestran los resultados del análisis estadístico de Kruskal Wallis. Los resultados de contenido de plomo en tejido vegetal de *Amaranthus caudatus* muestran que las medianas no son estadísticas significativas ($p > 0.05$) al usar diferentes calidades de agua por lo que podemos afirmar que el agua no es una fuente de contaminación con plomo para los parques Bosque El Olivar, zoológico de Huachipa y Las Leyendas mientras que en el parque Campo de Marte las medianas muestran diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en las dos primeras etapas de crecimiento y desarrollo lo que podría indicar que bajo las condiciones de suelo de este parque las plántulas son más sensibles al tratamiento de agua de riego con plomo.

Cuadro 8. Concentración promedio de plomo total (ppm) en tejidos de *Amaranthus caudatus* en las tres etapas de crecimiento y desarrollo en el parque Campo de Marte. Elaboración propia.

| | Tejido | AD | AD + Pb | AR | sin EDTA | con EDTA |
|-------------|--------------------|-------|---------|-------|----------|----------|
| 1ra etapa | Aéreo (1) | 0,77 | 0,7 | 0,71 | 0,69 | 0,76 |
| 2da etapa | Hojas (H) | 1,56 | 0,93 | 2,2 | 1,21 | 1,92 |
| | Tallos (T) | 0,58 | 0,46 | 0,25 | 0,34 | 0,51 |
| | Suma H+T (2) | 2,14 | 1,39 | 2,45 | 1,55 | 2,43 |
| 3ra etapa | Hojas (Ho) | 2,3 | 1,96 | 1,18 | 1,98 | 1,65 |
| | Tallos (Ta) | 0,41 | 0,29 | 0,31 | 0,38 | 0,29 |
| | Inflorescencia (I) | 0,97 | 0,81 | 0,82 | 0,84 | 0,89 |
| | Suma Ho+Ta+I (3) | 3,68 | 3,05 | 2,31 | 3,20 | 2,83 |
| Raíces | R | 12,4 | 8,85 | 4,6 | 8,94 | 8,29 |
| Total aéreo | (1)+(2)+(3) | 6,59 | 5,13 | 5,46 | 5,43 | 6,02 |
| Total | (1)+(2)+(3)+R | 18,99 | 13,98 | 10,06 | 14,38 | 14,30 |

AD: Agua desionizada; AD + Pb: Agua desionizada con plomo; AR: Agua de Huachipa con plomo.

En el parque CM (Cuadro 8) hubo una mayor concentración de plomo en tejidos al regar con agua desionizada. No hubo diferencia entre aplicar o no aplicar EDTA. Estos resultados se explican porque los suelos de este parque tienen niveles elevados de micronutrientes (Cu: 3900 ppm y Zn: 5100 ppm) y la capacidad de intercambio catiónica es alta por lo que la disponibilidad de los nutrientes y metales en general es alta.

Al comparar la concentración de plomo total en la parte aérea se encontró que el 53% se extrajo en la tercera etapa, 35% en la segunda etapa y el 12% en la primera etapa. De los órganos aéreos de las plantas, evaluados en las dos últimas etapas de crecimiento, se encontró que en las hojas estaba el 59% (figura 21), en los tallos el 14% y en la inflorescencia el 15% del plomo total extraído. Estos resultados coinciden con lo reportado por Blanco *et al* en el 2016. En la última etapa se determinó el contenido de plomo total en la parte radicular siendo 60%; es decir, las raíces extrajeron menos plomo del suelo que la parte aérea (40%).

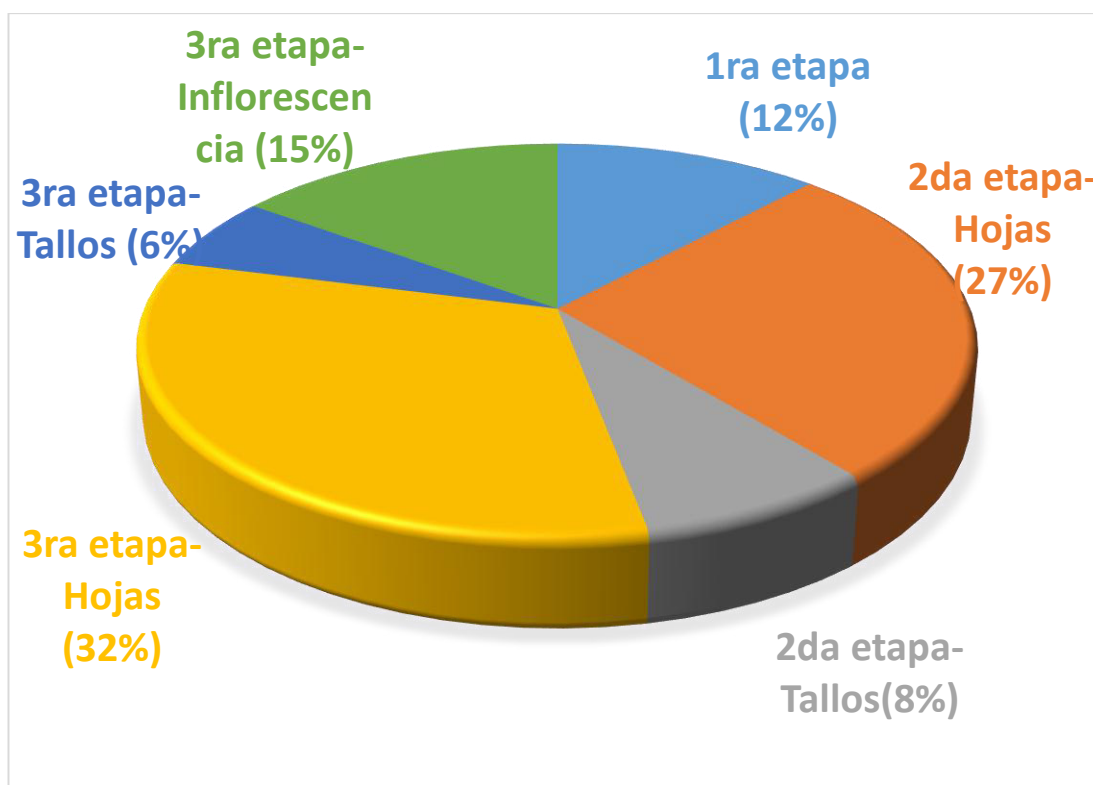


Figura 21. Contenido de plomo total en los diferentes órganos aéreos de *Amaranthus caudatus* y en las tres etapas de crecimiento en suelos del parque Campo de Marte.

En el parque BO, la mayor concentración de plomo en tejido se obtuvo al usar el agua de riego y resultó mejor aplicar EDTA. Estos suelos ofrecieron a la especie *Amaranthus caudatus* las mejores condiciones para extraer la mayor cantidad de plomo.

Al comparar la concentración de plomo total en la parte aérea se encontró que 66% se extrajo en la tercera etapa, 33% en la segunda etapa y 1% en la primera etapa. De los órganos aéreos de las plantas, evaluados en las dos últimas etapas, se encontró que en las hojas estaba el 81% (figura 23), en los tallos el 8% y en la inflorescencia el 10% del plomo total extraído. Estos resultados coinciden con lo reportado por Blanco *et al*/ en el 2016. En la última etapa se determinó el contenido de plomo total en la parte radicular siendo 13%; es decir, la parte aérea extrajo más plomo del suelo (87%).

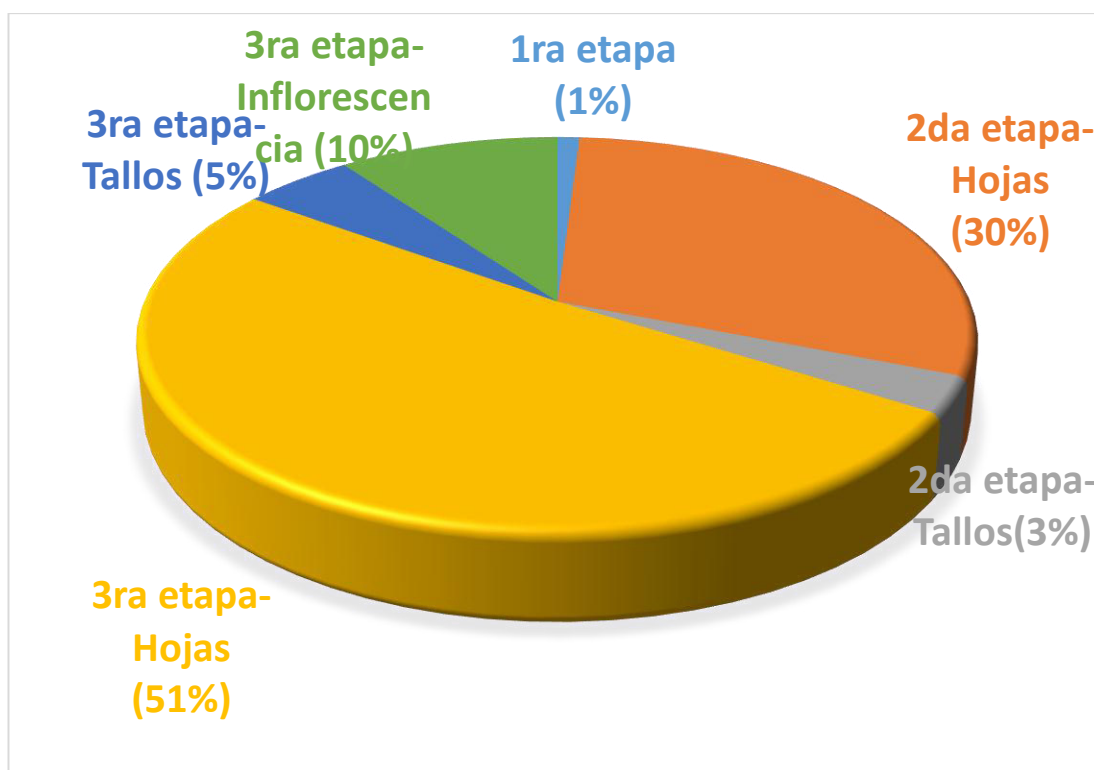


Figura 22. Contenido de plomo total en los diferentes órganos aéreos de *Amarantus caudatus* y en las tres etapas de crecimiento en suelos del parque Bosque El Olivar.

En el PZH la mayor concentración de plomo en tejidos se obtuvo al usar agua de riego; no hubo diferencias significativas entre aplicar o no aplicar EDTA probablemente porque la concentración de plomo en los suelos fue alta (769.53 ppm) y el pH del suelo neutro.

Al comparar la concentración de plomo total en la parte aérea se encontró que 51% se extrajo en la tercera etapa, 43% en la segunda etapa y 6% en la primera etapa. De los órganos aéreos de las plantas, evaluados en las dos últimas etapas, se encontró que en las hojas estaba el 72% (figura 23), en los tallos el 15% y en la inflorescencia el 7% del plomo total extraído. Estos resultados coinciden con lo reportado por Blanco *et al* en el 2016. En la

última etapa se determinó el contenido de plomo total en la parte radicular siendo 69%; es decir, la parte aérea extrajo menos plomo del suelo (31%).



Figura 23. Contenido de plomo total en los diferentes órganos aéreos de *Amarantus caudatus* y en las tres etapas de crecimiento en suelos del parque Zoológico de Huachipa.

En el PLL se obtuvo una mayor concentración de plomo en los tejidos al aplicar EDTA ($p \leq 0.05$) hasta la segunda etapa de crecimiento; el uso de agua desionizada también tuvo una mejor respuesta hasta la segunda etapa probablemente por el contenido de sales en los suelos.

Al comparar la concentración de plomo total en la parte aérea se encontró que 39% se extrajo en la tercera etapa, 59% en la segunda etapa y

2% en la primera etapa. De los órganos aéreos de las plantas, evaluados en las dos últimas etapas, se encontró que en las hojas estaba el 87% (figura 24), en los tallos el 7% y en la inflorescencia el 4% del plomo total extraído. Estos resultados coinciden con lo reportado por Blanco *et al*/ en el 2016. En la última etapa se determinó el contenido de plomo total en la parte radicular siendo 23%; es decir, la parte aérea extrajo más plomo del suelo (77%).



Figura 24. Contenido de plomo total en los diferentes órganos aéreos de *Amarantus caudatus* y en las tres etapas de crecimiento en suelos del parque Las Leyendas.

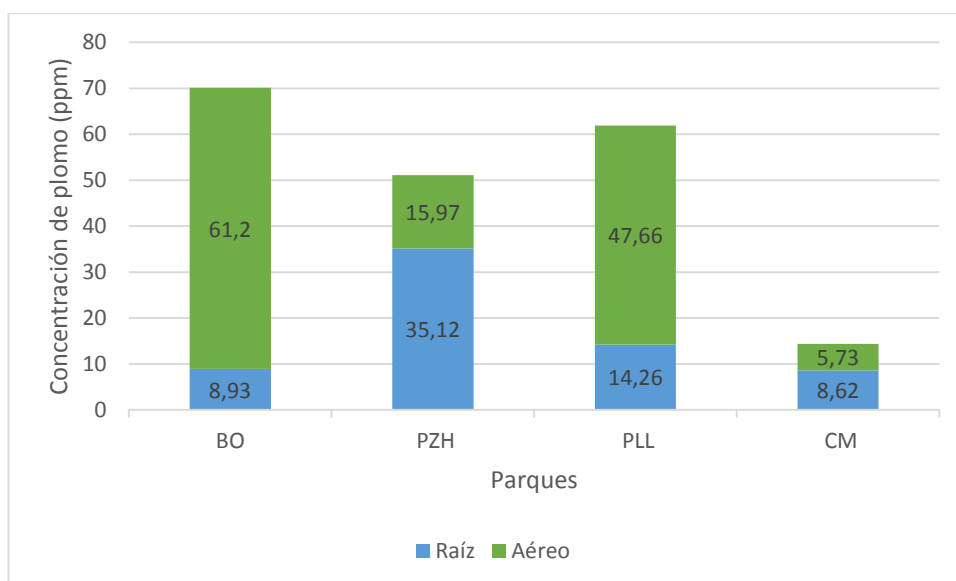


Figura 25. Plomo total (parte aérea más radicular) en *Amaranthus caudatus* en los cuatro parques. Elaboración propia.

Al comparar la extracción de plomo por parte de *Amaranthus caudatus* en los cuatro parques se tiene una mayor fitoextracción en el BO (100%) seguido por el PLL (88%), PZH (73%) y CM (20%); es decir las características inherentes de los suelos de estos parques resultaron adecuadas para que el *Amaranthus caudatus* pueda realizar una mayor fitoextracción de plomo del suelo. Durante el desarrollo del cultivo se observó una mayor defoliación en *Amaranthus caudatus* creciendo en el parque Campo de Marte siendo un síntoma de toxicidad por cobre encontrado en el análisis de suelos.

En cada parque se considera testigo al tratamiento sin aplicación de EDTA y usando agua desionizada y así podemos comparar el efecto de aplicar EDTA a los suelos y el efecto de usar agua con plomo sobre la fitoextracción del *Amaranthus caudatus*.

El *Amaranthus caudatus* en el suelo del PZH no tuvo respuesta ante la aplicación de EDTA (no significativa) debido a la alta concentración de plomo en el suelo; la conductividad eléctrica de este suelo fue normal, sin problema de sales entonces el uso de un agua de riego permitió una mejor fitoextracción ya que los iones del agua de riego pueden haberse adherido al complejo arcillo

húmico del suelo y cationes como el plomo pueden haber pasado a la solución suelo. Los suelos de los parques BO y PLL tuvieron semejante contenido de plomo (199.2 y 188.9 ppm respectivamente) sin embargo, la salinidad fue mayor en el PLL por lo que *Amaranthus caudatus* tuvo un stress por sales siendo la causa del porque la fitoextracción fue más eficiente hasta la segunda etapa de crecimiento y desarrollo ya que se acortó su período vegetativo; sin embargo, esto nos permitiría realizar un mayor número de siembras de plantas fitoextractoras en un período de tiempo para que la fitoextracción sea más eficiente. El parque CM registró la más baja fitoextracción a pesar de tener un mayor contenido de plomo en los suelos (344.74 ppm); en este caso el alto contenido de cobre, cadmio, cromo y otros elementos menores en suelos causó toxicidad observándose hojas amarillentas y con una mayor defoliación no cuantificada por lo que la fitoextracción real debe haber sido mayor. En los suelos de los parques BO, PZH y CM se tuvo mayor concentración de plomo en tejidos de *Amaranthus caudatus* conforme aumentó la edad de la planta lo cual coincide con lo encontrado por Ortiz *et al* en 2009. En los suelos de los parques CM y PLL que presentaron problemas de toxicidad de Cu y alto contenido de sales respectivamente, el uso de EDTA incrementó significativamente la fitoextracción de plomo coincidiendo con lo reportado por Zaier *et al* en el 2010.

4.1.4 Factor de bioconcentración (FBC) y factor de translocación (FT) para el *Amaranthus caudatus* en los suelos de los GPLM.

El factor de bioconcentración fue calculada con la concentración de plomo en raíces dividido entre la concentración de plomo en el suelo y el factor de translocación fue calculada con la concentración de plomo en la parte aérea entre la concentración de plomo en raíces (Cuadros 9 y 10).

Cuadro 9. Factores de bioconcentración y de translocación (sin unidades) en los parques Campo de Marte y Bosque El Olivar.

| | Campo de Marte | | | | Bosque El Olivar | | | |
|--------------------|----------------|------|------|------|-----------------------|-------|------|------|
| | aéreo | Raíz | FT | FBC | aéreo | raíz | FT | FBC |
| AD | 12,40 | 3,68 | 3,37 | 0,01 | 9,62 | 38,69 | 0,25 | 0,19 |
| AD + Pb | 8,85 | 3,05 | 2,90 | 0,01 | 8,25 | 39,80 | 0,21 | 0,20 |
| Agua riego | 4,60 | 2,31 | 1,99 | 0,01 | 8,91 | 42,16 | 0,21 | 0,21 |
| sin EDTA | 8,94 | 3,20 | 2,80 | 0,01 | 6,61 | 5,76 | 1,15 | 0,03 |
| con EDTA | 8,29 | 2,83 | 2,93 | 0,01 | 11,24 | 74,67 | 0,15 | 0,37 |
| Promedio | 8,62 | 3,01 | 2,86 | 0,01 | 8,93 | 40,21 | 0,39 | 0,20 |
| ppm Pb en suelo CM | 344,70 | | | | ppm Pb suelo BO 199,2 | | | |

Fuente: Elaboración propia, siguiendo las pautas de Ruiz, E; Armienta, M; 2012.

Cuadro 10. Factores de bioconcentración y de translocación (sin unidades) en los parques Zoológico de Huachipa y Las Leyendas.

| | Parque Zoológico de Huachipa | | | | Parque Las Leyendas | | | |
|---------------------|------------------------------|--------|------|------|---------------------------|----------|------|------|
| | aéreo | Raíz | FT | FBC | aéreo | raíz | FT | FBC |
| AD | 27,63 | 8,31 | 3,32 | 0,01 | 11,09 | 17,70 | 0,63 | 0,09 |
| AD + Pb | 34,45 | 7,24 | 4,76 | 0,01 | 20,82 | 18,25 | 1,14 | 0,10 |
| Agua riego | 43,28 | 8,88 | 4,87 | 0,01 | 10,85 | 20,36 | 0,53 | 0,11 |
| sin EDTA | 37,86 | 3,82 | 9,92 | 0,00 | 10,03 | 2,20 | 4,56 | 0,01 |
| con EDTA | 32,39 | 12,47 | 2,60 | 0,02 | 18,48 | 35,34 | 0,52 | 0,19 |
| Promedio | 35,12 | 8,1433 | 5,09 | 0,01 | 14,26 | 18,76944 | 1,48 | 0,10 |
| ppm Pb en suelo PZH | 769,5 | | | | ppm Pb en suelo PLL 188,9 | | | |

Fuente: Elaboración propia, siguiendo las pautas de Ruiz, E; Armienta, M; 2012.

En los cuadros 9 y 10 se observa un diferente patrón de comportamiento en el desarrollo de las plantas en función a los suelos lo cual coincide con lo reportado por Blanco *et al* en el 2016 en plantas de sorgo.

El factor de translocación fue mayor a uno cuando *Amaranthus caudatus* se desarrolló en los suelos de los parques Zoológico de Huachipa (5,09), Campo de Marte (2,86) y Las Leyendas (1,48) lo cual indica un comportamiento acumulador de plomo demostrando eficiencia en la fitoextracción del contaminante del suelo.

En el factor de bioconcentración se compara la concentración de plomo en el suelo y en las raíces ya que el plomo puede quedar retenido en la pared celular de las raíces por las estructuras de lignina y celulosa ya que poseen cargas negativas que interaccionan con las cargas positivas del plomo (Navarro-Aviño *et al*, 2007); el factor de bioconcentración fue bajo para todos los suelos observándose un valor de 0,2 para BO, el valor de 0,1 para PLL y 0,01 para CM y PZH con una tendencia contraria al factor de translocación.

4.1.5 Contenido de plomo en los suelos de los GPLM luego de la fitoextracción.

Cuadro 11. Cantidad de plomo extraído (ppm) de cada unidad experimental de suelo.

| Agua | EDTA | CM | BO | PZH | PLL |
|----------------------------|------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 1 | 16,3 | 52,4 | 193,7 | 49,6 |
| 1 | 1 | 25,9 | 49,5 | 236,7 | 18,9 |
| 1 | 1 | 91,8 | 50,9 | 179,8 | 27,0 |
| 1 | 2 | 79,0 | 49,6 | 224,3 | 2,1 |
| 1 | 2 | 64,6 | 56,4 | 79,2 | 16,1 |
| 1 | 2 | 75,6 | 53,0 | 193,3 | 21,7 |
| 2 | 1 | 53,9 | 71,1 | 214,7 | 51,5 |
| 2 | 1 | 88,8 | 71,1 | 267,0 | 15,5 |
| 2 | 1 | 78,6 | 71,1 | 107,4 | 47,6 |
| 2 | 2 | 60,5 | 73,0 | 268,5 | 43,9 |
| 2 | 2 | 104,9 | 70,9 | 346,6 | 30,6 |
| 2 | 2 | 79,4 | 72,6 | 420,4 | 13,3 |
| 3 | 1 | 29,0 | 71,9 | 367,8 | 68,0 |
| 3 | 1 | 46,1 | 74,3 | 186,0 | 29,4 |
| 3 | 1 | 49,5 | 69,5 | 294,6 | 62,4 |
| 3 | 2 | 88,7 | 73,5 | 220,5 | 68,9 |
| 3 | 2 | 70,7 | 75,7 | 261,6 | 57,6 |
| 3 | 2 | 88,5 | 74,6 | 366,1 | 45,5 |
| Pb al inicio del bioensayo | | 344,7 | 199,2 | 769,5 | 188,9 |
| Promedio | | 66,2 | 65,6 | 246,0 | 37,2 |

Fuente. Elaboración propia obtenido por diferencia entre el valor de prueba y el análisis de comprobación.

La mayor cantidad de plomo extraído de los suelos ocurrió en el PZH y BO con una extracción del 32% a 33% respectivamente, lo cual coincide con una mayor concentración de plomo en tejidos de *Amaranthus caudatus* creciendo en estos suelos; seguidos de CM y PLL con una extracción de 19% y 20% respectivamente, en este caso coincide con la concentración de plomo en *Amaranthus caudatus* creciendo en el PLL más no en CM y ello se explica por la mayor defoliación que presentó la especie en los suelos del parque CM

por la toxicidad de cobre; es decir, las diferencias se deben principalmente a las características de los suelos.

La prueba t (anexo 8) indica que los valores de T práctico se encuentran a la izquierda del T crítico, por lo tanto, existen diferencias significativas entre el contenido de plomo en los suelos al inicio y en cada uno de los tratamientos al final del bioensayo.

4.2. Pruebas de hipótesis

Hipótesis general

H_0 : La fitoextracción de plomo por *Amaranthus caudatus* no es eficiente en los suelos contaminados de los grandes parques de Lima Metropolitana.

H_1 : La fitoextracción de plomo por *Amaranthus caudatus* es eficiente en los suelos contaminados de los grandes parques de Lima Metropolitana.

Para validar esta hipótesis se utilizó la prueba T para una muestra en los parques CM, PZH y PLL debido a que cada parque tuvo una data de 18 valores y porque se ajustó a la normalidad y con homogeneidad de varianzas; el valor de la prueba de cada parque fue el contenido de plomo al inicio del bioensayo. En el parque BO se utilizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon porque los datos no se ajustaron a la normalidad.

Estadísticamente se encontraron diferencias significativas entre el contenido de plomo inicial y el contenido de plomo final en los suelos: se calculó que entre un 19 y 33% del plomo del suelo fue extraído por las plantas.

Los resultados de concentración de plomo en el suelo luego de la fitoextracción (cuadro 12) indican que los suelos del parque Bosque El Olivar quedarían descontaminados mientras que para los parques Las Leyendas, Zoológico de Huachipa y Campo de Marte sería necesario realizar una, dos y tres fitoextracción(es) adicional(es) respectivamente bajo similares condiciones.

Cuadro 12. Cantidad de plomo (ppm) en los suelos luego de la fitoextracción (análisis de comprobación) para cada una de las 72 unidades experimentales.

| Agua | EDTA | CM | BO | PZH | PLL |
|--|------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | 1 | 328,4 | 146,8 | 575,8 | 139,4 |
| 1 | 1 | 318,8 | 149,8 | 532,8 | 170,0 |
| 1 | 1 | 253,0 | 148,3 | 589,7 | 161,9 |
| 1 | 2 | 265,7 | 149,6 | 545,3 | 186,8 |
| 1 | 2 | 280,1 | 142,8 | 690,3 | 172,8 |
| 1 | 2 | 269,2 | 146,2 | 576,3 | 167,3 |
| 2 | 1 | 290,9 | 128,1 | 554,9 | 137,4 |
| 2 | 1 | 256,0 | 128,1 | 502,5 | 173,4 |
| 2 | 1 | 266,2 | 128,1 | 662,1 | 141,3 |
| 2 | 2 | 284,3 | 126,2 | 501,1 | 145,0 |
| 2 | 2 | 239,8 | 128,3 | 423,0 | 158,3 |
| 2 | 2 | 265,4 | 126,6 | 349,2 | 175,6 |
| 3 | 1 | 315,7 | 127,3 | 401,7 | 120,9 |
| 3 | 1 | 298,7 | 124,9 | 583,5 | 159,5 |
| 3 | 1 | 295,3 | 129,7 | 475,0 | 126,5 |
| 3 | 2 | 256,1 | 125,7 | 549,1 | 120,1 |
| 3 | 2 | 274,0 | 123,5 | 507,9 | 131,3 |
| 3 | 2 | 256,2 | 124,6 | 403,4 | 143,4 |
| Pb promedio al final del experimento | | 278,5 | 133,6 | 523,5 | 151,7 |
| Pb al inicio experimento o valor de prueba | | 344,7 | 199,2 | 769,5 | 188,9 |

Hipótesis específicas

H_0 : El agua de riego no influye sobre el contenido de plomo en los suelos de los Grandes Parques de Lima Metropolitana.

H_2 : El agua de riego influye sobre el contenido de plomo en los suelos de los Grandes Parques de Lima Metropolitana.

Los análisis simples y múltiples de agua en cada parque (cuadro 13) indican que no presenta plomo en niveles que sobrepasen los ECA; sin embargo, es muy probable que los sedimentos depositados por agua del río Rímac en períodos de inundación de la zona Bosque de Aves, estén ocasionando contaminación por plomo en los suelos.

Se realizó el análisis estadístico de la Prueba T para una muestra de una cola siendo el valor de prueba el límite máximo permitido por el ECA de aguas 0.05 ppm de Pb; encontrándose que el agua de riego no constituye un factor de riesgo de contaminación de plomo en los suelos.

Cuadro 13. Resultados de Prueba T para una muestra (valor de prueba=0.05 ppm de Pb) de aguas de los GPLM

| | $T_{práctico}$ | N | $T_{crítico}$ | Sig (bilateral) | Media |
|-------------|----------------|---|---------------|-----------------|--------|
| CM | -1.584 | 5 | 2.13 | 0.188 | 0.0216 |
| PZH | 0.404 | 5 | | 0.707 | 0.0598 |
| PLL | -1.213 | 5 | | 0.292 | 0.0288 |
| Pentagonito | -5.463 | 3 | 2.92 | 0.032 | 0.009 |

H₀: *Amaranthus caudatus* no es una planta acumuladora de plomo

H₃: *Amaranthus caudatus* es una planta acumuladora de plomo

Los factores de bioconcentración (FBC) y translocación (FT) tuvieron diferente patrón de comportamiento en *Amaranthus caudatus* en función a los suelos; se encontró que en los parques Zoológico de Huachipa, Campo de Marte y Las Leyendas el FT fue mayor a uno; es decir se tuvo una alta concentración de plomo en la parte aérea teniendo la planta un comportamiento acumulador y constituyendo un riesgo de contaminación en la cadena trófica. El FBC fue bajo en todos los parques, se tuvo el mayor valor en los suelos del Bosque El Olivar (0.2); es decir la especie *Amaranthus caudatus* no tuvo un comportamiento hiperacumulador (cuadros 9 y 10).

H₀: La aplicación de EDTA a los suelos no incrementa la fitoextracción de plomo con la especie *Amaranthus caudatus*.

H₄: La aplicación de EDTA a los suelos incrementa la fitoextracción de plomo con la especie *Amaranthus caudatus*.

Los análisis de suelos de comprobación indicaron que la aplicación de EDTA permitió una mayor extracción de plomo del suelo. En el cuadro 14 se observa que el uso de EDTA mejoró la fitoextracción en un 48% para el CM, 16% para el PZH y sólo 3% para el parque BO. En el PLL la aplicación de EDTA fue perjudicial probablemente porque el suelo era salino y el EDTA al ser una sal va a incrementar los valores de salinidad. También se encontró que la extracción de plomo fue mayor al usar agua de riego con excepción del CM probablemente por el alto contenido de elementos llegando a niveles tóxicos.

Cuadro 14. Cantidad de plomo extraído de los suelos en función a calidades de agua y uso de EDTA en los GPLM.

| | CM | BO | PZH | PLL |
|-------------------------|------|------|-------|------|
| Agua Desionizada | 58,9 | 51,9 | 184,5 | 22,6 |
| Agua Desionizada + Pb | 77,7 | 71,6 | 270,7 | 33,8 |
| Agua de riego | 62,1 | 73,2 | 282,8 | 55,3 |
| Sin EDTA | 53,3 | 64,6 | 227,5 | 41,1 |
| Con EDTA | 79,1 | 66,6 | 264,5 | 33,3 |
| Eficiencia del EDTA (%) | 48 | 3 | 16 | -20 |

Fuente. Elaboración propia

4.3. Presentación de resultados

4.3.1 Muestreo de identificación y detalle de los suelos de los GPLM

Los resultados de plomo total en cada punto de muestreo de los diferentes parques se registran en el cuadro 15 donde se indica la georreferenciación de cada punto de muestreo; a la izquierda se encuentran los puntos de muestreo de identificación y a la derecha los puntos de muestreo de detalle y en rojo los valores que sobrepasan los ECA de plomo en suelos.

Cuadro 15. Georreferenciación de los puntos de muestreo de Identificación y Detalle en los GPLM.

| Campo de Marte: Coordenadas: Zona 18 L | | | | Coordenadas: Zona 18 L | | | |
|--|--------|----------|--------|------------------------|--------|----------|--------|
| Muestreo de Identificación | | Pb (ppm) | | Muestreo de Detalle | | Pb (ppm) | |
| CM1 | 278021 | 8665367 | 369.68 | CM43 | 277534 | 8664855 | 302.73 |
| CM2 | 277974 | 8665376 | 302.15 | CM44 | 277525 | 8664873 | 217.72 |
| CM3 | 277985 | 8665360 | 112.49 | CM45 | 277559 | 8664898 | 315.5 |
| CM4 | 278020 | 8665334 | 485.64 | CM46 | 277534 | 8664952 | 167.32 |
| CM5 | 277972 | 8665309 | 375.18 | CM47 | 277473 | 8664991 | 202.1 |
| CM6 | 278008 | 8665303 | 124.71 | CM48 | 277495 | 8665031 | 187.61 |
| CM7 | 277962 | 8665319 | 202.86 | CM49 | 277529 | 8665057 | 143.27 |
| CM8 | 277972 | 8665246 | 225.38 | CM50 | 277611 | 8665033 | 157.21 |
| CM9 | 277627 | 8665081 | 153.62 | CM51 | 278018 | 8665399 | 324.24 |
| CM10 | 277641 | 8665030 | 134.51 | CM52 | 277961 | 8665321 | 267.26 |
| CM11 | 277985 | 8665281 | 361.97 | CM53 | 277997 | 8665233 | 383.98 |
| CM12 | 277739 | 8664997 | 286.55 | CM54 | 277995 | 8665214 | 307.53 |
| CM13 | 277770 | 8664943 | 197.48 | CM55 | 277985 | 8665228 | 210.02 |
| CM14 | 277829 | 8665005 | 134.77 | CM56 | 277965 | 8665223 | 183.34 |
| CM15 | 277856 | 8665107 | 140.29 | CM57 | 277957 | 8665219 | 200.43 |
| CM16 | 277882 | 8665282 | 166.47 | CM58 | 277968 | 8665203 | 359.16 |
| CM17 | 277607 | 8665112 | 136.18 | CM59 | 277983 | 8665186 | 92.09 |
| CM18 | 277931 | 8665186 | 163.84 | CM60 | 277983 | 8665169 | 175.42 |
| CM19 | 277979 | 8665099 | 203.00 | CM61 | 277986 | 8665148 | 109.43 |
| CM20 | 277911 | 8665108 | 244.54 | CM62 | 277951 | 8665142 | 357.48 |
| CM21 | 277909 | 8665074 | 188.32 | CM63 | 277927 | 8665167 | 251.73 |
| CM22 | 277920 | 8665072 | 212.48 | CM64 | 277933 | 8665183 | 201.01 |
| CM23 | 277940 | 8665066 | 229.21 | CM65 | 277941 | 8665195 | 178.19 |
| CM24 | 277974 | 8665062 | 413.2 | CM66 | 277889 | 8664859 | 237.52 |
| CM25 | 277962 | 8665034 | 270.2 | CM67 | 277871 | 8664867 | 361.86 |
| CM26 | 277941 | 8665036 | 220.63 | CM68 | 277857 | 8664874 | 226.01 |
| CM27 | 277895 | 8665048 | 247.40 | CM69 | 277845 | 8664857 | 313.22 |
| CM28 | 277872 | 8665021 | 156.86 | CM70 | 277856 | 8664846 | 224.62 |
| CM29 | 277887 | 8665010 | 150.09 | CM71 | 277876 | 8664835 | 312.56 |
| CM30 | 277915 | 8665003 | 258.6 | CM72 | 277871 | 8664819 | 251.1 |
| CM31 | 277658 | 8664819 | 297.98 | CM73 | 277840 | 8664815 | 271.72 |
| CM32 | 277643 | 8664813 | 132.84 | CM74 | 277818 | 8664809 | 307.86 |
| CM33 | 277604 | 8664834 | 365.63 | CM75 | 277550 | 8664967 | 362.54 |
| CM34 | 277586 | 8664837 | 311.17 | CM76 | 277531 | 8664965 | 198.8 |
| CM35 | 277572 | 8664844 | 408.38 | CM77 | 277513 | 8664972 | 247.34 |
| CM36 | 277570 | 8664830 | 228.23 | CM78 | 277514 | 8664987 | 187.78 |
| CM37 | 277573 | 8664792 | 215.94 | CM79 | 277539 | 8664996 | 297.98 |
| CM38 | 277557 | 8664805 | 243.76 | CM80 | 277557 | 8664999 | 411.86 |
| CM39 | 277553 | 8664820 | 314.17 | CM81 | 277560 | 8665010 | 224.85 |
| CM40 | 277561 | 8664845 | 248.85 | CM82 | 277573 | 8665001 | 178.4 |

| | | | | | | | |
|------|--------|---------|-------|-------|--------|---------|--------|
| CM41 | 277569 | 8664938 | 66.42 | CM83 | 277588 | 8664993 | 280.77 |
| CM42 | 277552 | 8665049 | 91.17 | CM84 | 277576 | 8664978 | 173.3 |
| | | | | CM85 | 277597 | 8664994 | 146.91 |
| | | | | CM86 | 277620 | 8665016 | 131.22 |
| | | | | CM87 | 277652 | 8665033 | 106.31 |
| | | | | CM88 | 277676 | 8665043 | 114.45 |
| | | | | CM89 | 277676 | 8665069 | 188.72 |
| | | | | CM90 | 277648 | 8665059 | 128.91 |
| | | | | CM91 | 277607 | 8665054 | 135.9 |
| | | | | CM92 | 277580 | 8665055 | 142.09 |
| | | | | CM93 | 277582 | 8665088 | 117.14 |
| | | | | CM94 | 277565 | 8665069 | 158.66 |
| | | | | CM95 | 277550 | 8665056 | 250.44 |
| | | | | CM96 | 277532 | 8665032 | 175.49 |
| | | | | CM97 | 277557 | 8665037 | 225.72 |
| | | | | CM98 | 277554 | 8665011 | 98.05 |
| | | | | CM99 | 277530 | 8665025 | 239.62 |
| | | | | CM100 | 277518 | 8665034 | 240.09 |
| | | | | CM101 | 277504 | 8665011 | 167.08 |
| | | | | CM102 | 277489 | 8665011 | 265.12 |
| | | | | CM103 | 277479 | 8664983 | 154.78 |
| | | | | CM104 | 277487 | 8664961 | 178.08 |
| | | | | CM105 | 277496 | 8664949 | 169.34 |
| | | | | CM106 | 277516 | 8664945 | 101.34 |
| | | | | CM107 | 277532 | 8664928 | 344.74 |

| Bosque El Olivar | | | | Coordenadas: Zona 18 L | | | | Coordenadas: Zona 18 L | | | |
|----------------------------|--------|---------|--------|------------------------|--------|---------|--------|------------------------|--------|---------|--------|
| Muestreo de Identificación | | | | Pb (ppm) | | | | Muestreo de Detalle | | | |
| BO1 | 278509 | 8661792 | 127.76 | BO39 | 278487 | 8661346 | 181.47 | BO39 | 278487 | 8661346 | 181.47 |
| BO2 | 278501 | 8661761 | 205.86 | BO40 | 278497 | 8661437 | 160.21 | BO40 | 278497 | 8661437 | 160.21 |
| BO3 | 278484 | 8661708 | 176.78 | BO41 | 278510 | 8661536 | 327.74 | BO41 | 278510 | 8661536 | 327.74 |
| BO4 | 278471 | 8661659 | 169.41 | BO42 | 278504 | 8661494 | 250.64 | BO42 | 278504 | 8661494 | 250.64 |
| BO5 | 278461 | 8661599 | 256.24 | BO43 | 278529 | 8661678 | 160.48 | BO43 | 278529 | 8661678 | 160.48 |
| BO6 | 278466 | 8661640 | 154.79 | BO44 | 278529 | 8661703 | 191.99 | BO44 | 278529 | 8661703 | 191.99 |
| BO7 | 278476 | 8661688 | 145.50 | BO45 | 278553 | 8661793 | 208.82 | BO45 | 278553 | 8661793 | 208.82 |
| BO8 | 278495 | 8661778 | 197.89 | BO46 | 278613 | 8661834 | 169.89 | BO46 | 278613 | 8661834 | 169.89 |
| BO9 | 278501 | 8661782 | 136.72 | BO47 | 278596 | 8661785 | 151.37 | BO47 | 278596 | 8661785 | 151.37 |
| BO10 | 278430 | 8661440 | 111.39 | BO48 | 278563 | 8661641 | 300.54 | BO48 | 278563 | 8661641 | 300.54 |
| BO11 | 278421 | 8661375 | 71.28 | BO49 | 278566 | 8661529 | 181.05 | BO49 | 278566 | 8661529 | 181.05 |
| BO12 | 278445 | 8661522 | 74.13 | BO50 | 278558 | 8661475 | 133.31 | BO50 | 278558 | 8661475 | 133.31 |
| BO13 | 278472 | 8661652 | 102.20 | BO51 | 278556 | 8661452 | 75.28 | BO51 | 278556 | 8661452 | 75.28 |
| BO14 | 278414 | 8661322 | 270.75 | BO52 | 278548 | 8661376 | 110.07 | BO52 | 278548 | 8661376 | 110.07 |
| BO15 | 278408 | 8661274 | 167.19 | BO53 | 278540 | 8661220 | 111.00 | BO53 | 278540 | 8661220 | 111.00 |
| BO16 | 278402 | 8661216 | 210.23 | BO54 | 278584 | 8661042 | 154.31 | BO54 | 278584 | 8661042 | 154.31 |
| BO17 | 278390 | 8661102 | 124.13 | BO55 | 278603 | 8661063 | 186.53 | BO55 | 278603 | 8661063 | 186.53 |
| BO18 | 278450 | 8661414 | 149.58 | BO56 | 278637 | 8661209 | 155.59 | BO56 | 278637 | 8661209 | 155.59 |
| BO19 | 278461 | 8661587 | 134.19 | BO57 | 278656 | 8661464 | 186.96 | BO57 | 278656 | 8661464 | 186.96 |
| BO20 | 278386 | 8661062 | 229.56 | BO58 | 278688 | 8661606 | 147.30 | BO58 | 278688 | 8661606 | 147.30 |

| | | | | | | | |
|------|--------|---------|--------|------|--------|---------|--------|
| BO21 | 278379 | 8660982 | 107.90 | BO59 | 278710 | 8661668 | 398.48 |
| BO22 | 278457 | 8661057 | 123.55 | BO60 | 278698 | 8661637 | 329.04 |
| BO23 | 278466 | 8661134 | 128.11 | BO61 | 278713 | 8661728 | 76.50 |
| BO24 | 278474 | 8661209 | 136.52 | BO62 | 278705 | 8661801 | 281.15 |
| BO25 | 278382 | 8660992 | 198.18 | BO63 | 278705 | 8661785 | 99.19 |
| BO26 | 278480 | 8661250 | 209.93 | BO64 | 278699 | 8661810 | 172.97 |
| BO27 | 278485 | 8661320 | 152.58 | BO65 | 278595 | 8661056 | 243.31 |
| BO28 | 278481 | 8661291 | 96.00 | BO66 | 278619 | 8661097 | 165.99 |
| BO29 | 278479 | 8661269 | 288.38 | BO67 | 278625 | 8661135 | 256.72 |
| BO30 | 278476 | 8661229 | 212.37 | BO68 | 278630 | 8661170 | 270.21 |
| BO31 | 278489 | 8661369 | 120.02 | BO69 | 278637 | 8661314 | 188.34 |
| BO32 | 278492 | 8661298 | 115.32 | BO70 | 278644 | 8661364 | 186.67 |
| BO33 | 278527 | 8661650 | 82.24 | BO71 | 278637 | 8661348 | 133.48 |
| BO34 | 278586 | 8661761 | 134.67 | BO72 | 278707 | 8661754 | 121.60 |
| BO35 | 278577 | 8661743 | 114.24 | | | | |
| BO36 | 278562 | 8661711 | 123.39 | | | | |
| BO37 | 278554 | 8661681 | 135.97 | | | | |
| BO38 | 278562 | 8661502 | 73.70 | | | | |

| Parque Pentagonito | | | | Coordenadas: Zona 18 L | | | |
|----------------------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|---------|----------|
| Muestreo de Identificación | | | | Muestreo de Detalle | | | |
| | | | Pb (ppm) | | | | Pb (ppm) |
| PP1 | 283922 | 8661932 | 190.37 | PP7 | 284023 | 8661894 | 140.07 |
| PP2 | 284403 | 8661656 | 187.08 | PP8 | 284422 | 8661522 | 157.04 |
| PP3 | 283554 | 8661560 | 189.64 | PP9 | 283960 | 8660924 | 186.76 |
| PP4 | 283727 | 8660751 | 196.52 | PP10 | 283571 | 8660899 | 158.04 |
| PP5 | 284402 | 8661271 | 154.21 | PP11 | 283534 | 8661436 | 187.53 |
| PP6 | 283560 | 8661059 | 125.85 | PP12 | 283681 | 8661961 | 191.47 |

| Parque Kennedy | | | | Coordenadas: Zona 18 L | | | |
|----------------------------|--------|---------|----------|------------------------|--------|---------|----------|
| Muestreo de Identificación | | | | Muestreo de Detalle | | | |
| | | | Pb (ppm) | | | | Pb (ppm) |
| PK1 | 279154 | 8659372 | 65.98 | PK20 | 279163 | 8659366 | 37.36 |
| PK2 | 278998 | 8659146 | 50.63 | PK21 | 279169 | 8659338 | 30.06 |
| PK3 | 279157 | 8659368 | 71.89 | PK22 | 279165 | 8659320 | 74.33 |
| PK4 | 278967 | 8659100 | 35.22 | PK23 | 279163 | 8659270 | 41.69 |
| PK5 | 279087 | 8659258 | 70.58 | PK24 | 279158 | 8659262 | 66.95 |
| PK6 | 279162 | 8659298 | 76.9 | PK25 | 279161 | 8659226 | 38.59 |
| PK7 | 279144 | 8659314 | 30.79 | PK26 | 279149 | 8659207 | 38.26 |
| PK8 | 279151 | 8659362 | 64.3 | PK27 | 279119 | 8659221 | 75.05 |
| PK9 | 279105 | 8659291 | 54.8 | PK28 | 279036 | 8659211 | 71.85 |
| PK10 | 279137 | 8659230 | 31.45 | PK29 | 279057 | 8659188 | 65.54 |
| PK11 | 279132 | 8659241 | 52.3 | PK30 | 279047 | 8659171 | 91.5 |
| PK12 | 279149 | 8659353 | 55.68 | PK31 | 279027 | 8659136 | 73.59 |
| PK13 | 279136 | 8659359 | 148.49 | PK32 | 278999 | 8659108 | 91.09 |
| PK14 | 279155 | 8659344 | 40.25 | | | | |
| PK15 | 279154 | 8659334 | 40.98 | | | | |
| PK16 | 279143 | 8659337 | 31.81 | | | | |
| PK17 | 279127 | 8659340 | 71.18 | | | | |
| PK18 | 279131 | 8659318 | 56.47 | | | | |
| PK19 | 279127 | 8659288 | 48.93 | | | | |

| Parque Las Leyendas | | | | Coordenadas: Zona 18 L | | | | Coordenadas: Zona 18 L | | | |
|----------------------------|--------|---------|--------|------------------------|--|--|--|------------------------|--------|---------|--------|
| Muestreo de Identificación | | | | Pb (ppm) | | | | Muestreo de Detalle | | | |
| | | | | | | | | Pb (ppm) | | | |
| PLL1 | 272798 | 8664994 | 78.4 | | | | | PLL51 | 272963 | 8664440 | 297.04 |
| PLL2 | 272811 | 8665039 | 63.15 | | | | | PLL52 | 272961 | 8664500 | 334.96 |
| PLL3 | 272817 | 8665100 | 71.07 | | | | | PLL53 | 272786 | 8665008 | 47.41 |
| PLL4 | 272834 | 8665134 | 92.87 | | | | | PLL54 | 273192 | 8664845 | 223.04 |
| PLL5 | 272838 | 8665189 | 74.7 | | | | | PLL55 | 273202 | 8664837 | 334.98 |
| PLL6 | 272850 | 8665234 | 33.83 | | | | | PLL56 | 273114 | 8664857 | 88.69 |
| PLL7 | 272767 | 8665330 | 25.06 | | | | | | | | |
| PLL8 | 272764 | 8665262 | 38.23 | | | | | | | | |
| PLL9 | 272748 | 8665197 | 78.72 | | | | | | | | |
| PLL10 | 272742 | 8665148 | 27.77 | | | | | | | | |
| PLL11 | 272736 | 8665107 | 35.21 | | | | | | | | |
| PLL12 | 272751 | 8665081 | 49.27 | | | | | | | | |
| PLL13 | 272742 | 8665036 | 40.87 | | | | | | | | |
| PLL14 | 272770 | 8664980 | 58.08 | | | | | | | | |
| PLL15 | 272745 | 8665000 | 58.73 | | | | | | | | |
| PLL16 | 272726 | 8665015 | 29.97 | | | | | | | | |
| PLL17 | 272669 | 8664930 | 60.65 | | | | | | | | |
| PLL18 | 272648 | 8664963 | 50.88 | | | | | | | | |
| PLL19 | 272639 | 8664946 | 80.51 | | | | | | | | |
| PLL20 | 272677 | 8664958 | 50.33 | | | | | | | | |
| PLL21 | 273099 | 8665300 | 40.01 | | | | | | | | |
| PLL22 | 273148 | 8665318 | 36.18 | | | | | | | | |
| PLL23 | 273156 | 8665363 | 36.25 | | | | | | | | |
| PLL24 | 273124 | 8665375 | 41.55 | | | | | | | | |
| PLL25 | 273111 | 8665343 | 56.06 | | | | | | | | |
| PLL26 | 273229 | 8664988 | 60.02 | | | | | | | | |
| PLL27 | 273252 | 8664992 | 24.26 | | | | | | | | |
| PLL28 | 273234 | 8665020 | 37.97 | | | | | | | | |
| PLL29 | 273250 | 8665047 | 29.59 | | | | | | | | |
| PLL30 | 273287 | 8665058 | 28.31 | | | | | | | | |
| PLL31 | 273279 | 8664844 | 72.79 | | | | | | | | |
| PLL32 | 273000 | 8664529 | 158.75 | | | | | | | | |
| PLL33 | 272972 | 8664522 | 204.5 | | | | | | | | |
| PLL34 | 273196 | 8664859 | 123.7 | | | | | | | | |
| PLL35 | 273198 | 8664815 | 163.2 | | | | | | | | |
| PLL36 | 273227 | 8664806 | 81.37 | | | | | | | | |
| PLL37 | 273253 | 8664776 | 38.25 | | | | | | | | |
| PLL38 | 273204 | 8664746 | 93.54 | | | | | | | | |
| PLL39 | 273181 | 8664730 | 66.55 | | | | | | | | |
| PLL40 | 273146 | 8664692 | 60.82 | | | | | | | | |
| PLL41 | 273122 | 8664671 | 51.21 | | | | | | | | |
| PLL42 | 273166 | 8664656 | 68.15 | | | | | | | | |
| PLL43 | 273039 | 8664823 | 81.07 | | | | | | | | |
| PLL44 | 273021 | 8664842 | 60.37 | | | | | | | | |
| PLL45 | 273002 | 8664854 | 71.25 | | | | | | | | |
| PLL46 | 272923 | 8664752 | 60.84 | | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|------------------------------|--------|---------|----------|---------------------|--------|------------------------|--------|
| PLL47 | 272885 | 8664714 | 88.27 | | | | |
| PLL48 | 273113 | 8664857 | 34.18 | | | | |
| PLL49 | 273095 | 8664703 | 74.48 | | | | |
| PLL50 | 272748 | 8664862 | 73.28 | | | | |
| Parque Zoológico de Huachipa | | | | Coord: Zona 18 L | | Coordenadas: Zona 18 L | |
| Muestreo de Identificación | | | Pb (ppm) | Muestreo de Detalle | | Pb (ppm) | |
| PZH1 | 293197 | 8671044 | 85.19 | PZH34 | 293321 | 8671158 | 110.51 |
| PZH2 | 293246 | 8671059 | 284.85 | PZH35 | 293319 | 8671169 | 57.21 |
| PZH3 | 293296 | 8671078 | 145.27 | PZH36 | 293330 | 8671165 | 36.92 |
| PZH4 | 293310 | 8671085 | 39.79 | PZH37 | 293331 | 8671162 | 58.81 |
| PZH5 | 293311 | 8671098 | 51.32 | PZH38 | 293345 | 8671165 | 67.60 |
| PZH6 | 293297 | 8671094 | 31.91 | PZH39 | 293341 | 8671170 | 115.83 |
| PZH7 | 293278 | 8671088 | 36.79 | PZH40 | 293350 | 8671175 | 91.12 |
| PZH8 | 293278 | 8671063 | 157.11 | PZH41 | 293351 | 8671169 | 115.42 |
| PZH9 | 293771 | 8671239 | 469.93 | PZH42 | 293362 | 8671175 | 79.58 |
| PZH10 | 293291 | 8671099 | 22.45 | PZH43 | 293369 | 8671177 | 109.29 |
| PZH11 | 293289 | 8671106 | 139.81 | PZH44 | 293375 | 8671182 | 72.61 |
| PZH12 | 293380 | 8671145 | 315.15 | PZH45 | 293382 | 8671184 | 92.85 |
| PZH13 | 293401 | 8671102 | 226.04 | PZH46 | 293413 | 8671193 | 78.61 |
| PZH14 | 293282 | 8671109 | 103.37 | PZH47 | 293430 | 8671193 | 71.21 |
| PZH15 | 293279 | 8671114 | 92.95 | PZH48 | 293448 | 8671194 | 86.39 |
| PZH16 | 293284 | 8671121 | 41.45 | PZH49 | 293663 | 8671186 | 100.01 |
| PZH17 | 293291 | 8671119 | 20.47 | PZH50 | 293643 | 8671197 | 87.56 |
| PZH18 | 293305 | 8671133 | 136.75 | PZH51 | 293634 | 8671194 | 96.24 |
| PZH19 | 293298 | 8671139 | 33.70 | PZH52 | 293637 | 8671183 | 78.00 |
| PZH20 | 293472 | 8671175 | 265.63 | PZH53 | 293637 | 8671174 | 137.18 |
| PZH21 | 293536 | 8671186 | 191.34 | PZH54 | 293733 | 8671215 | 330.91 |
| PZH22 | 293660 | 8671180 | 248.5 | PZH55 | 293761 | 8671232 | 134.35 |
| PZH23 | 293467 | 8671193 | 171.52 | PZH56 | 293291 | 8671143 | 27.94 |
| PZH24 | 293469 | 8671188 | 384.97 | PZH57 | 293303 | 8671146 | 36.66 |
| PZH25 | 293649 | 8671173 | 222.97 | PZH58 | 293306 | 8671139 | 32.26 |
| PZH26 | 293319 | 8671136 | 74.31 | PZH59 | 293310 | 8671131 | 35.19 |
| PZH27 | 293314 | 8671145 | 34.35 | PZH60 | 293515 | 8671104 | 46.08 |
| PZH28 | 293313 | 8671151 | 62.56 | PZH61 | 293446 | 8671111 | 111.32 |
| PZH29 | 293306 | 8671154 | 70.51 | PZH62 | 293407 | 8671139 | 108.83 |
| PZH30 | 293309 | 8671154 | 60.03 | PZH63 | 293380 | 8671065 | 99.01 |
| PZH31 | 293313 | 8671157 | 48.43 | PZH64 | 293434 | 8671051 | 98.96 |
| PZH32 | 293438 | 8671153 | 203.16 | PZH65 | 293409 | 8671076 | 76.05 |
| PZH33 | 293312 | 8671151 | 56.19 | PZH66 | 293373 | 8671087 | 44.78 |
| | | | | PZH67 | 293363 | 8671092 | 43.75 |
| | | | | PZH68 | 293358 | 8671097 | 45.96 |
| | | | | PZH69 | 293350 | 8671114 | 49.85 |
| | | | | PZH70 | 293320 | 8671070 | 63.92 |
| | | | | PZH71 | 293322 | 8671073 | 109.08 |
| | | | | PZH72 | 293309 | 8671063 | 138.71 |
| | | | | PZH73 | 293285 | 8671090 | 77.57 |
| PZH75 | 293708 | 8671242 | 222.61 | PZH74 | 293280 | 8671096 | 44.00 |
| PZH76 | 293396 | 8671141 | 246.18 | | | | |
| PZH77 | 293421 | 8671155 | 362.94 | | | | |

4.3.2 Muestreos simples y múltiples de agua de los GPLM

En el cuadro 16 se observa que los niveles de plomo en el agua de riego en las diferentes fechas de muestreo en los años 2015 y 2016 siendo el máximo permisible de 0,05 ppm (ECA, 2017).

Cuadro 16. Análisis simple de las múltiples muestras de agua de riego en los GPLM

Campo de Marte

| | | Campo Marte | Campo Marte | Campo Marte | Campo Marte | Campo Marte |
|-----------------|-------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Acequia | Acequia | Acequia | Acequia | Acequia |
| | | Jul-15 | Set-15 | May-16 | 14-Jun-16 | 14-Jun-16 |
| pH | | 7.16 | 6.64 | 7.19 | 7.61 | 7.42 |
| C.E. | dS/m | 0.6 | 0.58 | 0.67 | 0.64 | 0.89 |
| Calcio | meq/L | 4.34 | 3.84 | 4.9 | 4.31 | 4.98 |
| Magnesio | meq/L | 0.73 | 0.77 | 0.72 | 0.85 | 1.05 |
| Potasio | meq/L | 0.07 | 0.08 | 0.11 | 0.13 | 0.33 |
| Sodio | meq/L | 0.91 | 0.85 | 1.02 | 1.39 | 2.63 |
| Suma cationes | | 6.05 | 5.54 | 6.75 | 6.68 | 8.99 |
| Nitratos | meq/L | 0 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.06 |
| Carbonatos | meq/L | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bicarbonatos | meq/L | 2.06 | 2.07 | 2.26 | 2.32 | 3.63 |
| Sulfatos | meq/L | 3.25 | 1.6 | 2.33 | 1.43 | 2.91 |
| Cloruros | meq/L | 0.7 | 1.9 | 2.2 | 2.8 | 2.4 |
| Suma de aniones | | 6.01 | 5.59 | 6.81 | 6.56 | 9 |
| Sodio | % | 15.08 | 15.35 | 15.12 | 20.83 | 29.28 |
| RAS | | 0.57 | 0.56 | 0.61 | 0.87 | 1.52 |
| Boro | ppm | 0.36 | 0.25 | 0.32 | 0.33 | 0.35 |
| Clasificación | | C2-S1 | C2 - S1 | C2 - S1 | C2-S1 | C3 - S1 |
| Cobre | ppm | 0.04 | | | 0.11 | 0.007 |
| Zinc | ppm | 0.171 | | | 0.03 | 0.018 |
| Manganeso | ppm | 1.37 | | | 0.095 | 0.049 |
| Hierro | ppm | 0.001 | | | 0.156 | 0.1 |
| Plomo | ppm | 0 | 0.004 | 0.093 | 0.001 | 0.01 |
| Cadmio | ppm | 0.006 | | | 0.002 | 0.009 |
| Cromo | ppm | 0.311 | | | 0.1 | 0 |

Bosque El Olivar

| | | Bosque El Olivar | Bosque El Olivar | Bosque El Olivar |
|-----------------|-------|------------------|------------------|------------------|
| | | Pozo | Colector | Pozo |
| Fecha | | 03-Dic-15 | 10 dicembre 2015 | 01-Jul-16 |
| pH | | 7.23 | 7.69 | 7.72 |
| C.E. | dS/m | 0.68 | 0.62 | 0.63 |
| Calcio | meq/L | 4.55 | 4.16 | 4.51 |
| Magnesio | meq/L | 0.82 | 0.86 | 0.73 |
| Potasio | meq/L | 0.1 | 0.09 | 0.1 |
| Sodio | meq/L | 1.21 | 1.33 | 0.72 |
| Suma cationes | | 6.68 | 6.44 | 6.06 |
| Nitratos | meq/L | 0.04 | 0.01 | 0.02 |
| Carbonatos | meq/L | 0 | 0 | 0 |
| Bicarbonatos | meq/L | 2.1 | 2.3 | 2.49 |
| Sulfatos | meq/L | 1.91 | 2.34 | 2.59 |
| Cloruros | meq/L | 2.7 | 1.7 | 1 |
| Suma de aniones | | 6.75 | 6.35 | 6.1 |
| Sodio | % | 18.12 | 20.66 | 11.91 |
| RAS | | 0.74 | 0.84 | 0.45 |
| Boro | ppm | 0.22 | 0.21 | 0.33 |
| Clasificación | | C2 - S1 | C2 - S1 | C2-S1 |
| Cobre | ppm | | | 0.005 |
| Zinc | ppm | | | 0.009 |
| Manganeso | ppm | | | 0.03 |
| Plomo | ppm | 0.001 | 0 | 0 |

Zoológico de Huachipa

| | | Huachipa | Huachipa | Huachipa | Huachipa | Huachipa | Huachipa | Huachipa |
|-----------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------------|----------------|
| | | Pozo | Acequia | Pozo | Acequia | Pozo | Lab.fertilidad | Lab.fertilidad |
| | | Ene-16 | Jun-16 | Jun-16 | Jul-16 | Jul-16 | Set-16 | Nov-16 |
| pH | | 7.19 | 7.41 | 7.91 | 7.97 | 8.29 | 8.6 | 7.87 |
| C.E. | dS/m | 0.76 | 0.67 | 0.75 | 0.61 | 0.74 | 0.64 | 0.69 |
| Calcio | meq/L | 5.85 | 4.87 | 5.6 | 4.1 | 5.5 | 4.89 | 4.95 |
| Magnesio | meq/L | 1.11 | 0.56 | 0.86 | 0.78 | 1.15 | 0.78 | 1.01 |
| Potasio | meq/L | 0.08 | 0.14 | 0.09 | 0.11 | 0.08 | 0.14 | 0.1 |
| Sodio | meq/L | 0.9 | 1.25 | 1.08 | 1.19 | 0.96 | 0.89 | 0.9 |
| Suma cationes | | 7.94 | 6.82 | 7.63 | 6.18 | 7.69 | 6.7 | 6.96 |
| Nitratos | meq/L | 0.09 | 0.01 | 0.09 | 0 | 0.1 | 0.02 | 0.08 |
| Carbonatos | meq/L | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.15 | 0.18 | 0 |
| Bicarbonatos | meq/L | 3.51 | 2.95 | 3.3 | 2.78 | 3.31 | 2.12 | 3.15 |
| Sulfatos | meq/L | 2.58 | 1.29 | 2.07 | 1.88 | 2.67 | 2.08 | 2.29 |
| Cloruros | meq/L | 1.8 | 2.5 | 2.2 | 1.5 | 1.3 | 2.3 | 1.4 |
| Suma de aniones | | 7.98 | 6.75 | 7.66 | 6.16 | 7.53 | 6.7 | 6.92 |
| Sodio | % | 11.39 | 18.34 | 14.17 | 19.24 | 12.44 | 13.25 | 12.99 |
| RAS | | 0.48 | 0.76 | 0.6 | 0.76 | 0.52 | 0.53 | 0.52 |
| Boro | ppm | 0.24 | 0.24 | 0.28 | 0.19 | 0.3 | 0.29 | 0.42 |
| Clasificación | | C3 - S1 | C2-S1 | C3-S1 | C2 - S1 | C2 - S1 | C2 - S1 | C2 - S1 |
| Cobre | ppm | | 0.001 | 0.001 | 0.01 | 0 | 0.03 | |
| Zinc | ppm | | 0.078 | 0.002 | 0.13 | 0.002 | 0.061 | |
| Manganeso | ppm | | 0.002 | 0.001 | 0.015 | 0.01 | 0.001 | |
| Hierro | ppm | | 0.001 | 0.001 | 0.019 | 0.006 | 0.006 | |
| Plomo | ppm | 0.041 | 0.035 | 0.024 | 0 | 0 | 0.0039 | 0.03 |
| Cadmio | ppm | | 0.029 | 0.004 | 0.049 | 0.01 | 0.001 | 0.023 |
| Cromo | ppm | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.001 | 0.157 |

Las Leyendas

| | | Leyendas | Leyendas | Leyendas | Leyendas | Leyendas |
|-----------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | Pozo | Pozo | Pozo | Pozo | Pozo |
| Fecha | | Ene-16 | Ago-16 | Ago-16 | Set-16 | Set-16 |
| pH | | 7 | 7.36 | 8.28 | 7.4 | 7.35 |
| C.E. | dS/m | 0.92 | 0.94 | 0.88 | 0.92 | 0.92 |
| Calcio | meq/L | 6.3 | 6.5 | 6.15 | 6.1 | 6.25 |
| Magnesio | meq/L | 1.31 | 1.34 | 1.18 | 1.48 | 1.46 |
| Potasio | meq/L | 0.09 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.09 |
| Sodio | meq/L | 1.48 | 1.57 | 1.45 | 1.96 | 1.65 |
| Suma cationes | | 9.18 | 9.51 | 8.88 | 9.64 | 9.45 |
| Nitratos | meq/L | 0.21 | 0.2 | 0.22 | 0.22 | 0.21 |
| Carbonatos | meq/L | 0 | 0 | 0.25 | 0 | 0 |
| Bicarbonatos | meq/L | 3.93 | 3.99 | 4 | 3.62 | 3.69 |
| Sulfatos | meq/L | 3.02 | 2.59 | 2.3 | 2.41 | 2.16 |
| Cloruros | meq/L | 2 | 2.8 | 2.1 | 3.4 | 3.4 |
| Suma de aniones | | 9.16 | 9.58 | 8.87 | 9.65 | 9.46 |
| Sodio | % | 16.11 | 16.47 | 16.32 | 20.3 | 17.48 |
| RAS | | 0.76 | 0.79 | 0.76 | 1 | 0.84 |
| Boro | ppm | 0.43 | 0.34 | 0.47 | 0.55 | 0.56 |
| Clasificación | | C3 - S1 | C3 - S1 | C3 - S1 | C3 - S1 | C3 - S1 |
| Cobre | ppm | | 0.01 | 0 | 0.01 | 0.02 |
| Zinc | ppm | | 0.015 | 0.031 | 0.006 | 0.002 |
| Manganeso | ppm | | 0.018 | 0.033 | 0.001 | 0 |
| Hierro | ppm | | 0.001 | 0.011 | 0.002 | 0.001 |
| Plomo | ppm | 0.013 | 0.096 | 0.005 | 0.001 | 0.029 |
| Cadmio | ppm | | 0.002 | 0.01 | 0.068 | 0.011 |
| Cromo | ppm | | 0 | 0 | 0.002 | 0 |

Pentagonito

| | | Pentagonito Acequia | Pentagonito Acequia | Pentagonito cisterna |
|-----------------|-------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| Fecha | | 17-Nov-15 | 30-May-16 | Jun-16 |
| pH | | 7.55 | 7.02 | 7.79 |
| C.E. | dS/m | 0.58 | 0.76 | 2.65 |
| Calcio | meq/L | 4.39 | 5.4 | 8.35 |
| Magnesio | meq/L | 0.63 | 0.84 | 3.45 |
| Potasio | meq/L | 0.08 | 0.13 | 0.18 |
| Sodio | meq/L | 0.63 | 1.3 | 14.72 |
| Suma cationes | | 5.73 | 7.67 | 26.7 |
| Nitratos | meq/L | 0.02 | 0 | 1.32 |
| Carbonatos | meq/L | 0 | 0 | 0 |
| Bicarbonatos | meq/L | 2.08 | 2.68 | 6.76 |
| Sulfatos | meq/L | 2.85 | 1.83 | 3.69 |
| Cloruros | meq/L | 0.8 | 3.2 | 15 |
| Suma de aniones | | 5.75 | 7.71 | 26.77 |
| Sodio | % | 11 | 16.95 | 55.13 |
| RAS | | 0.4 | 0.74 | 6.06 |
| Boro | Ppm | 0.16 | 0.47 | 1.25 |
| Clasificación | | C2 - S1 | C3 - S1 | C4-S2 |
| Plomo | Ppm | 0.002 | 0.024 | 0.001 |
| Cadmio | Ppm | | 0.006 | 0.004 |
| Cromo | Ppm | | 0.001 | 0.002 |

4.3.3 Resultados del bioensayo

4.3.3.1 Peso seco de *Amaranthus caudatus*. En el cuadro 17 se encuentran los valores de peso seco para cada uno de los tratamientos con sus tres repeticiones en los cuatro GPLM.

Cuadro 17. Peso seco (gramos) de *Amaranthus caudatus* para cada tratamiento con tres repeticiones y en cada uno de los cuatro GPLM.

| Campo Marte | | | | | | | | | | |
|-------------|------|------------------|------------------|--------|-------|-----------------|-------|----------|-------|------|
| Agua | EDTA | 1ra ecd aéreo | 2da ecd Hojas | Tallos | Total | 3ra ecd Hjas | tallo | inflores | aéreo | raíz |
| 1,00 | 1,00 | 2,11 | 2,32 | 2,50 | 4,82 | 2,58 | 5,77 | 1,72 | 10,07 | 4,52 |
| 1,00 | 1,00 | 2,76 | 1,94 | 2,08 | 4,02 | 2,22 | 6,87 | 3,63 | 12,72 | 3,89 |
| 1,00 | 1,00 | 3,02 | 2,7 | 2,91 | 5,61 | 3,33 | 10,53 | 5,79 | 19,65 | 6,24 |
| 1,00 | 2,00 | 2,23 | 1,61 | 1,83 | 3,44 | 3,02 | 9,71 | 5,65 | 18,38 | 5,34 |
| 1,00 | 2,00 | 1,86 | 1,68 | 1,75 | 3,43 | 1,66 | 5,05 | 2,91 | 9,62 | 2,38 |
| 1,00 | 2,00 | 2,51 | 1,39 | 1,29 | 2,68 | 1,77 | 4,22 | 2,59 | 8,58 | 2,51 |
| 2,00 | 1,00 | 3,9 | 2,89 | 3,02 | 5,91 | 2,58 | 7,89 | 5,07 | 15,54 | 5,07 |
| 2,00 | 1,00 | 2,15 | 3,31 | 3,50 | 6,81 | 2,51 | 8,19 | 6,01 | 16,71 | 3,04 |
| 2,00 | 1,00 | 2,91 | 3,73 | 3,97 | 7,70 | 1,61 | 4,53 | 2,76 | 8,9 | 4,43 |
| 2,00 | 2,00 | 1,26 | 2,98 | 3,15 | 6,13 | 3,47 | 9,26 | 6,12 | 18,85 | 6,21 |
| 2,00 | 2,00 | 3,71 | 3,03 | 3,56 | 6,59 | 2,54 | 7,67 | 5,11 | 15,32 | 3,65 |
| 2,00 | 2,00 | 4,29 | 1,97 | 1,94 | 3,91 | 3,56 | 10,24 | 5,97 | 19,77 | 5,26 |
| 3,00 | 1,00 | 2,86 | 3,26 | 3,88 | 7,14 | 3,53 | 10,82 | 4,03 | 18,38 | 6,39 |
| 3,00 | 1,00 | 3,38 | 2,82 | 3,93 | 6,75 | 3,8 | 12 | 6,87 | 22,67 | 6,7 |
| 3,00 | 1,00 | 3,66 | 2,3 | 2,49 | 4,79 | 2,61 | 8,01 | 4,01 | 14,63 | 3,64 |
| 3,00 | 2,00 | 2,67 | 2,43 | 1,90 | 4,33 | 2,83 | 8,35 | 5,35 | 16,53 | 4,22 |
| 3,00 | 2,00 | 2,5 | 3,28 | 3,54 | 6,82 | 2,72 | 5,81 | 1,83 | 10,36 | 3,81 |
| 3,00 | 2,00 | 4,84 | 1,57 | 1,81 | 3,38 | 2,99 | 8,58 | 2,27 | 13,84 | 4,2 |

Bosque El Olivar

| Agua | EDTA | 1ra | 2da | Tallos | Total | Hojas | Tallos | Inflorescencia | parte | |
|------|------|------|-------|--------|--------|-------|--------|----------------|--------|--------|
| | | ecd | ecd | | | | | | aérea | raíces |
| 1,00 | 1,00 | 2,21 | 1,28 | 3,92 | 10,055 | 11,47 | 14,9 | 1,13 | 27,5 | 8,31 |
| 1,00 | 1,00 | 2,87 | 4,73 | 3,41 | 8,14 | 9,96 | 20,87 | 5,3 | 36,13 | 8,32 |
| 1,00 | 1,00 | 1,55 | 7,54 | 4,43 | 11,97 | 12,11 | 16,2 | 4,11 | 32,42 | 10,08 |
| 1,00 | 2,00 | 2,7 | 4,32 | 3,24 | 7,56 | 12,35 | 13,52 | 2,91 | 28,78 | 5,88 |
| 1,00 | 2,00 | 2,28 | 1,04 | 3,24 | 8,205 | 7,48 | 10,99 | 2,03 | 20,5 | 6,77 |
| 1,00 | 2,00 | 1,86 | 5,61 | 3,24 | 8,85 | 8,35 | 18,76 | 5,19 | 32,3 | 8,7 |
| 2,00 | 1,00 | 1,45 | 4,44 | 2,77 | 7,21 | 9,34 | 20,235 | 2,67 | 32,245 | 10,31 |
| 2,00 | 1,00 | 1,5 | 4,31 | 2,68 | 6,99 | 10,34 | 21,26 | 3,46 | 35,06 | 8,71 |
| 2,00 | 1,00 | 2,5 | 2,86 | 2,3 | 5,16 | 8,34 | 19,21 | 5,11 | 32,66 | 11,91 |
| 2,00 | 2,00 | 2,66 | 3,87 | 2,71 | 6,58 | 8,55 | 15,74 | 7,85 | 32,14 | 8,2 |
| 2,00 | 2,00 | 0,71 | 2,86 | 2,16 | 5,02 | 15,16 | 20,78 | 5,45 | 41,39 | 11,61 |
| 2,00 | 2,00 | 0,92 | 0,39 | 2,42 | 5,49 | 12,66 | 18,26 | 0,37 | 31,29 | 5,95 |
| 3,00 | 1,00 | 1,44 | 3,28 | 2,68 | 5,96 | 9,52 | 22,72 | 6,05 | 38,29 | 9,14 |
| 3,00 | 1,00 | 0,93 | 3,94 | 2,6 | 6,54 | 8,16 | 20,37 | 3,88 | 32,41 | 8,54 |
| 3,00 | 1,00 | 1,49 | 6,88 | 3,51 | 10,39 | 9,84 | 16,75 | 1,02 | 27,61 | 8,46 |
| 3,00 | 2,00 | 1,71 | 4,46 | 3,36 | 7,82 | 11,02 | 22 | 5,11 | 38,13 | 7,1 |
| 3,00 | 2,00 | 1,62 | 5,59 | 5,08 | 10,67 | 8,73 | 16,79 | 5,23 | 30,75 | 6,64 |
| 3,00 | 2,00 | 1,63 | 5,025 | 4,22 | 9,245 | 8,82 | 21,25 | 5,5 | 35,57 | 8,42 |

Zoológico de Huachipa

| Agua | EDTA | 1ra | 2da | Tallos | Total | Hojas | Tallos | Inflorescencia | parte | |
|------|------|------|------|--------|-------|-------|--------|----------------|-------|--------|
| | | ecd | ecd | | | | | | aérea | Raíces |
| 1,00 | 1,00 | 4,35 | 6,94 | 6,94 | 13,88 | 6,01 | 15,12 | 15,6 | 36,73 | 8,08 |
| 1,00 | 1,00 | 3,45 | 3,86 | 4,38 | 8,24 | 6,86 | 24,72 | 14,92 | 46,5 | 9,64 |
| 1,00 | 1,00 | 8,28 | 5,4 | 5,66 | 11,06 | 6,29 | 17,53 | 9,07 | 32,89 | 5,92 |
| 1,00 | 2,00 | 8,25 | 7,84 | 10,79 | 18,63 | 7,62 | 28,56 | 7,82 | 44 | 7,55 |
| 1,00 | 2,00 | 3,03 | 4,74 | 5,71 | 10,45 | 5,16 | 14,83 | 16,06 | 36,05 | 10,50 |
| 1,00 | 2,00 | 4,52 | 5,09 | 5,42 | 10,51 | 7,5 | 21,05 | 20,39 | 48,94 | 8,48 |
| 2,00 | 1,00 | 4,12 | 6,02 | 6,69 | 12,71 | 7,72 | 25,79 | 9,38 | 42,89 | 9,26 |
| 2,00 | 1,00 | 5,57 | 9,07 | 10,5 | 19,57 | 5,62 | 24,28 | 10,38 | 40,28 | 7,83 |
| 2,00 | 1,00 | 5,42 | 9,58 | 10,34 | 19,92 | 5,71 | 25,04 | 10,68 | 41,43 | 7,75 |
| 2,00 | 2,00 | 2,94 | 6,99 | 7,2 | 14,19 | 8,27 | 29,38 | 11,7 | 49,35 | 9,95 |
| 2,00 | 2,00 | 5,68 | 8,06 | 9,01 | 17,07 | 7,4 | 22,67 | 14,77 | 44,84 | 9,00 |
| 2,00 | 2,00 | 3,72 | 9,09 | 11,54 | 20,63 | 6,28 | 20,99 | 9,08 | 36,35 | 7,64 |
| 3,00 | 1,00 | 7,02 | 8,7 | 10,78 | 19,48 | 4,24 | 22,99 | 3,05 | 30,28 | 5,64 |
| 3,00 | 1,00 | 7,8 | 8,04 | 10,21 | 18,25 | 3,08 | 16,6 | 9,46 | 29,14 | 5,05 |
| 3,00 | 1,00 | 4,48 | 7,17 | 7,03 | 14,2 | 8,28 | 14,37 | 15,86 | 38,51 | 12,96 |
| 3,00 | 2,00 | 7,5 | 8,37 | 9,69 | 18,06 | 5,75 | 18,75 | 5,68 | 30,18 | 7,66 |
| 3,00 | 2,00 | 3,41 | 4,5 | 5,59 | 10,09 | 6,53 | 25,7 | 11,44 | 43,67 | 9,40 |
| 3,00 | 2,00 | 5,65 | 7,16 | 7,66 | 14,82 | 6,46 | 26,71 | 15,03 | 48,2 | 8,25 |

Las Leyendas

| Agua | EDTA | 1ra ecd | 2da ecd | Tallos | Total | | | Inflorescencia | parte aérea | Raíces |
|------|------|------------|------------|--------|-------|-------|--------|----------------|----------------|--------|
| | | aéreo | Hojas | | aéreo | Hojas | Tallos | | | |
| 1,00 | 1,00 | 0,21 | 0,55 | 0,26 | 0,81 | 7,96 | 19,71 | 0,12 | 27,79 | 1,72 |
| 1,00 | 1,00 | 0,48 | 1,6 | 1,39 | 2,99 | 5,82 | 6,05 | 2 | 13,87 | 2,08 |
| 1,00 | 1,00 | 0,53 | 1,56 | 0,89 | 2,45 | 5,29 | 3,7 | 2,25 | 11,24 | 2,41 |
| 1,00 | 2,00 | 1,01 | 1,63 | 1,19 | 2,82 | 5,41 | 11,95 | 4,78 | 22,14 | 5,01 |
| 1,00 | 2,00 | 0,62 | 1,8 | 0,84 | 2,64 | 3,17 | 5,06 | 1,44 | 9,67 | 2,36 |
| 1,00 | 2,00 | 0,47 | 0,6 | 0,19 | 0,79 | 5,75 | 3,53 | 3,11 | 12,39 | 3,23 |
| 2,00 | 1,00 | 1,32 | 2,89 | 1,98 | 4,87 | 3,1 | 5,47 | 2,8 | 11,37 | 2,81 |
| 2,00 | 1,00 | 1,19 | 1,51 | 1,05 | 2,56 | 2,57 | 6,09 | 3,76 | 12,42 | 3,26 |
| 2,00 | 1,00 | 1,22 | 1,13 | 0,68 | 1,81 | 2,24 | 2,86 | 1,53 | 6,63 | 1,19 |
| 2,00 | 2,00 | 0,38 | 1,46 | 1,08 | 2,54 | 3,76 | 6,93 | 2,76 | 13,45 | 3,08 |
| 2,00 | 2,00 | 0,19 | 1,57 | 0,8 | 2,37 | 3,7 | 5,51 | 1,92 | 11,13 | 2,8 |
| 2,00 | 2,00 | 1,05 | 1,43 | 1,16 | 2,59 | 3,58 | 7,31 | 3,73 | 14,62 | 3,06 |
| 3,00 | 1,00 | 0,29 | 1,17 | 0,61 | 1,78 | 3,26 | 5,69 | 1,12 | 10,07 | 2,02 |
| 3,00 | 1,00 | 0,34 | 1,6 | 1,07 | 2,67 | 3,54 | 7,67 | 3,12 | 14,33 | 3,39 |
| 3,00 | 1,00 | 0,15 | 1,33 | 0,53 | 1,86 | 2,26 | 1,67 | 0,11 | 4,04 | 1,07 |
| 3,00 | 2,00 | 2,7 | 2,2 | 2,85 | 5,05 | 3,38 | 9 | 7,99 | 20,37 | 3,13 |
| 3,00 | 2,00 | 0,62 | 1,27 | 0,81 | 2,08 | 5,52 | 7,39 | 0,97 | 13,88 | 3,14 |
| 3,00 | 2,00 | 1,22 | 0,98 | 0,67 | 1,65 | 4,51 | 9,03 | 5,15 | 18,69 | 2,68 |

Agua: 1 agua desionizada; 2 agua desionizada con plomo y 3 agua de riego

EDTA: 1 sin EDTA y 2 con EDTA.

4.3.3.2 Contenido de plomo total en tejidos de *Amaranthus caudatus*.

En el cuadro 18 se encuentran los valores de contenido de plomo total en las diferentes partes de *Amaranthus caudatus* para cada uno de los tratamientos con sus tres repeticiones y en las tres etapas de crecimiento y desarrollo en los cuatro GPLM.

Cuadro 18. Concentración total de plomo (ppm) en las tres etapas de crecimiento y desarrollo de *Amaranthus caudatus* y en las distintas partes de las plantas.

| Campo Marte | | | | | | | | | | |
|-------------|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|
| Agua | EDTA | 1ra | 2da | Tallos | Aéreo | 3ra | tallo | inflores | aéreo | raíz |
| | | etapa | etapa | | | etapa | | | | |
| | | aéreo | Hojas | | | Hjas | | | | |
| 1* | 1* | 0,78 | 1,19 | 0,18 | 1,37 | 2,3 | 0,53 | 0,89 | 3,72 | 12,6 |
| 1 | 1 | 0,77 | 1,18 | 0,19 | 1,37 | 2,25 | 0,54 | 0,9 | 3,69 | 12,52 |
| 1 | 1 | 0,78 | 1,23 | 0,11 | 1,34 | 2,34 | 0,51 | 0,86 | 3,71 | 12,71 |
| 1 | 2* | 0,75 | 1,9 | 0,98 | 2,88 | 2,32 | 0,29 | 1,09 | 3,7 | 12,58 |
| 1 | 2 | 0,8 | 1,93 | 0,99 | 2,92 | 2,35 | 0,28 | 1,07 | 3,7 | 11,98 |
| 1 | 2 | 0,75 | 1,92 | 1,03 | 2,95 | 2,23 | 0,3 | 1,02 | 3,55 | 12 |
| 2* | 1 | 0,64 | 0,59 | 0,59 | 1,18 | 2,83 | 0,31 | 0,98 | 4,12 | 9,9 |
| 2 | 1 | 0,64 | 0,57 | 0,58 | 1,15 | 2,76 | 0,31 | 0,9 | 3,97 | 9,84 |
| 2 | 1 | 0,61 | 0,6 | 0,6 | 1,2 | 2,74 | 0,34 | 0,92 | 4 | 10,22 |
| 2 | 2 | 0,76 | 1,25 | 0,3 | 1,55 | 1,11 | 0,23 | 0,67 | 2,01 | 7,53 |
| 2 | 2 | 0,77 | 1,29 | 0,33 | 1,62 | 1,19 | 0,25 | 0,69 | 2,13 | 7,71 |
| 2 | 2 | 0,75 | 1,28 | 0,34 | 1,62 | 1,1 | 0,28 | 0,68 | 2,06 | 7,88 |
| 3* | 1 | 0,64 | 1,87 | 0,28 | 2,15 | 0,88 | 0,34 | 0,69 | 1,91 | 4,24 |
| 3 | 1 | 0,66 | 1,84 | 0,27 | 2,11 | 0,87 | 0,31 | 0,7 | 1,88 | 4,45 |
| 3 | 1 | 0,67 | 1,78 | 0,29 | 2,07 | 0,83 | 0,26 | 0,69 | 1,78 | 4,01 |
| 3 | 2 | 0,77 | 2,69 | 0,23 | 2,92 | 1,4 | 0,26 | 0,95 | 2,61 | 5,15 |
| 3 | 2 | 0,72 | 2,49 | 0,2 | 2,69 | 1,59 | 0,35 | 0,93 | 2,87 | 4,81 |
| 3 | 2 | 0,77 | 2,51 | 0,22 | 2,73 | 1,52 | 0,36 | 0,93 | 2,81 | 4,94 |
| Promedios | | 0,72 | 1,56 | 0,43 | 1,99 | 1,81 | 0,34 | 0,86 | 3,01 | 8,62 |

Bosque El Olivar

| Agu a | EDTA | 1ra cosecha | 2da cosecha | | 3ra cosecha | | | inflore s | aéreo | raíz |
|-----------|------|----------------|-------------|--------|-------------|------|-----------|--------------|-------|------|
| | | aéreo | Hojas | Tallos | Aéreo | Hjas | Tall o | | | |
| 1* | 1* | 0,59 | 0,65 | 0,41 | 1,06 | 0,97 | 11 | 0,55 | 12,46 | 7,44 |
| 1 | 1 | 0,57 | 0,64 | 0,45 | 1,09 | 0,93 | 11 | 0,55 | 11,99 | 7,38 |
| 1 | 1 | 0,58 | 0,7 | 0,44 | 1,14 | 0,94 | 11 | 0,52 | 12,04 | 7,66 |
| 1 | 2* | 0,47 | 19,9 | 3,72 | 23,62 | 53,9 | 1 | 11,52 | 66,39 | 11,4 |
| 1 | 2 | 0,46 | 19,6 | 3,7 | 23,3 | 52,3 | 1 | 11,39 | 64,6 | 11,5 |
| | | | 19,6 | | | | | | | 12,3 |
| 1 | 2 | 0,46 | 5 | 3,86 | 23,51 | 51,7 | 1 | 11,92 | 64,64 | 6 |
| 2* | 1 | 0,91 | 0,88 | 0,42 | 1,3 | 1,03 | 0,5 | 0,78 | 2,29 | 7,44 |
| 2 | 1 | 0,9 | 0,92 | 0,35 | 1,27 | 1,06 | 0,5 | 0,72 | 2,29 | 7,53 |
| 2 | 1 | 0,88 | 0,9 | 0,41 | 1,31 | 0,96 | 0,5 | 0,72 | 2,2 | 7,18 |
| | | | 40,0 | | | | | | | |
| 2 | 2 | 0,78 | 5 | 3,79 | 43,84 | 60,8 | 4,5 | 11,82 | 77,12 | 8,8 |
| | | | 39,5 | | | | | | | |
| 2 | 2 | 0,83 | 5 | 3,71 | 43,26 | 60,3 | 4,5 | 11,86 | 76,72 | 9,34 |
| | | | 40,2 | | | | | | | |
| 2 | 2 | 0,82 | 6 | 3,72 | 43,98 | 61,5 | 4,7 | 11,96 | 78,17 | 9,23 |
| 3* | 1 | 0,45 | 0,7 | 0,44 | 1,14 | 1,89 | 0,2 | 0,82 | 2,95 | 4,98 |
| 3 | 1 | 0,53 | 0,7 | 0,42 | 1,12 | 1,83 | 0,2 | 0,8 | 2,81 | 5 |
| 3 | 1 | 0,53 | 0,75 | 0,37 | 1,12 | 1,77 | 0,2 | 0,84 | 2,8 | 4,92 |
| | | | 47,5 | | | | | | | 12,7 |
| 3 | 2 | 0,69 | 7 | 3,77 | 51,34 | 70,2 | 1,9 | 9,69 | 81,79 | 9 |
| | | | 47,7 | | | | | | | 12,9 |
| 3 | 2 | 0,7 | 7 | 3,73 | 51,5 | 69,3 | 1,9 | 9,7 | 80,86 | 3 |
| | | | 47,3 | | | | | | | 12,8 |
| 3 | 2 | 0,7 | 4 | 3,7 | 51,04 | 70,5 | 1,9 | 9,26 | 81,72 | 2 |
| Promedios | | 0,66 | 18,2 | 2,08 | 20,33 | 31,2 | 3,14 | 5,86 | 40,21 | 8,93 |

Zoológico de Huachipa

| Agu a | EDTA | 1ra cosecha | 2da cosecha | | 3ra cosecha | | | inflores | aéreo | raíz |
|----------|------|----------------|-------------|--------|-------------|------|-------|----------|-------|-------|
| | | aéreo | Hojas | Tallos | Aéreo | Hjas | tallo | | | |
| 1* | 1* | 0,76 | 5,37 | 1,46 | 6,83 | 2,61 | 1,1 | 0,33 | 4,03 | 45,46 |
| 1 | 1 | 0,76 | 5,29 | 1,45 | 6,74 | 2,32 | 1,2 | 0,28 | 3,75 | 45,14 |
| 1 | 1 | 0,77 | 5,38 | 1,47 | 6,85 | 2,2 | 1,2 | 0,31 | 3,67 | 45,75 |
| 1 | 2* | 0,83 | 7,53 | 1,76 | 9,29 | 10,8 | 1 | 1,55 | 13,36 | 9,83 |
| 1 | 2 | 0,78 | 7,51 | 1,75 | 9,26 | 10,6 | 1,1 | 1,54 | 13,27 | 9,66 |
| 1 | 2 | 1,07 | 7,65 | 1,74 | 9,39 | 9,15 | 1,1 | 1,57 | 11,79 | 9,92 |
| 2* | 1 | 1,25 | 1,03 | 0,84 | 1,87 | 1,89 | 0,6 | 0,93 | 3,46 | 29,48 |
| 2 | 1 | 1,21 | 1,05 | 0,78 | 1,83 | 1,99 | 0,7 | 0,96 | 3,6 | 29,35 |

| | | | | | | | | | | |
|-----------|---|------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|
| 2 | 1 | 1,19 | 1,05 | 0,76 | 1,81 | 1,96 | 0,6 | 1 | 3,59 | 29,12 |
| 2 | 2 | 0,61 | 9,44 | 1,65 | 11,09 | 7,71 | 2 | 1,09 | 10,77 | 39,82 |
| 2 | 2 | 0,58 | 9,32 | 1,72 | 11,04 | 7,84 | 2,1 | 1,04 | 10,99 | 39,42 |
| 2 | 2 | 0,87 | 9,42 | 1,72 | 11,14 | 7,8 | 2,1 | 1,09 | 11 | 39,53 |
| 3* | 1 | 1,3 | 0,92 | 0,52 | 1,44 | 2,42 | 0,7 | 0,83 | 3,99 | 38,91 |
| 3 | 1 | 1,3 | 0,94 | 0,55 | 1,49 | 2,41 | 0,7 | 0,82 | 3,95 | 39,02 |
| 3 | 1 | 1,25 | 0,92 | 0,57 | 1,49 | 2,79 | 0,8 | 0,76 | 4,32 | 38,47 |
| 3 | 2 | 1,03 | 9,28 | 1,31 | 10,59 | 11 | 1,2 | 1,59 | 13,75 | 47,78 |
| 3 | 2 | 0,91 | 9,27 | 1,27 | 10,54 | 10,9 | 1,2 | 1,59 | 13,65 | 47,57 |
| 3 | 2 | 0,95 | 9,34 | 1,35 | 10,69 | 10,7 | 1,3 | 1,65 | 13,64 | 47,95 |
| Promedios | | 0,97 | 5,60 | 1,26 | 6,85 | 5,95 | 1,14 | 1,05 | 8,14 | 35,12 |

Las Leyendas

| Agua | EDTA | 1ra cosecha | | 2da cosecha | | 3ra cosecha | | | inflore | |
|-----------|------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|--------|------|---------|-------|
| | | aéreo | Hojas | Tallos | Aéreo | Hjas | tallos | s | aéreo | raíz |
| 1* | 1* | | 0,05 | | 0,05 | 1,06 | 0,4 | 0,77 | 2,2 | 4,61 |
| 1 | 1 | | 0,01 | | 0,01 | 1,06 | 0,3 | 0,79 | 2,19 | 4,58 |
| 1 | 1 | | 0,1 | | 0,1 | 1,02 | 0,3 | 0,69 | 2,05 | 4,63 |
| 1 | 2* | 0,846 | 33,69 | 3,51 | 37,2 | 27,7 | 3,2 | 2,27 | 33,14 | 17,45 |
| 1 | 2 | 0,986 | 33,58 | 3,58 | 37,16 | 27,9 | 3,4 | 2,19 | 33,52 | 17,5 |
| 1 | 2 | 0,914 | 33,75 | 3,57 | 37,32 | 27,4 | 3,5 | 2,24 | 33,08 | 17,79 |
| 2* | 1 | 0,77 | 0,72 | 0,06 | 0,78 | 0,88 | 0,4 | 0,78 | 2,01 | 16,09 |
| 2 | 1 | 0,73 | 0,73 | 0,1 | 0,83 | 0,91 | 0,4 | 0,81 | 2,07 | 15,97 |
| 2 | 1 | 0,77 | 0,76 | 0,09 | 0,85 | 0,86 | 0,4 | 0,73 | 1,98 | 16,35 |
| 2 | 2 | | 36,41 | | 36,41 | 27,3 | 2,8 | 3,49 | 33,52 | 25,34 |
| 2 | 2 | | 36,21 | | 36,21 | 27,6 | 2,8 | 3,58 | 34,02 | 25,65 |
| 2 | 2 | | 36,39 | | 36,39 | 29,6 | 2,8 | 3,49 | 35,9 | 25,51 |
| 3* | 1 | | | | 0 | 0,98 | 0,4 | 1,03 | 2,42 | 9,37 |
| 3 | 1 | | | | 0 | 1 | 0,4 | 1,04 | 2,44 | 9,47 |
| 3 | 1 | | | | 0 | 1,02 | 0,4 | 1,05 | 2,45 | 9,24 |
| 3 | 2 | 1,28 | 59,44 | | 59,44 | 34 | 2 | 2,6 | 38,67 | 12,31 |
| 3 | 2 | 1,28 | 59,86 | | 59,86 | 34,3 | 2,1 | 2,52 | 38,91 | 12,37 |
| 3 | 2 | 1,27 | 59,62 | | 59,62 | 32,8 | 2,1 | 2,45 | 37,28 | 12,36 |
| Promedios | | 0,98 | 26,09 | 1,82 | 27,91 | 15,4 | 1,56 | 1,81 | 18,77 | 14,26 |

Agua: 1 agua desionizada; 2 agua desionizada con plomo y 3 agua de riego

EDTA: 1 sin EDTA y 2 con EDTA.

CONCLUSIONES

- Los análisis simples y múltiples de concentración de plomo en aguas de riego usadas en los diferentes parques de Lima estudiados indican que no tiene contaminación de plomo.
- Según el contenido de plomo en los suelos:
 - Los parques Campo de Marte, Bosque El Olivar y Pentagonito están contaminados con plomo por el tránsito vehicular cuyo combustible, hasta el año 2005, tenía plomo en su composición.
 - El parque Kennedy no está contaminado.
 - Los parques Zoológico de Huachipa (PZH) y Las Leyendas (PLL) tienen una contaminación focalizada de plomo por los depósitos de sedimentos.
- *Amaranthus caudatus* es una planta acumuladora de plomo con una proporción de extracción de 59 a 87 % en la parte foliar, 7 a 15% en tallos y 4 a 15 % en la inflorescencia.
- La mejor alternativa de fitoextracción eficiente de plomo fue asistir al *Amaranthus caudatus* con EDTA en los suelos de los parques Las Leyendas y Bosque El Olivar.

RECOMENDACIONES

- Transferir los resultados de la investigación a nivel de campo en coordinación con las Municipalidades.
- Si se utiliza *Amaranthus caudatus* en parques, extraerla antes de la etapa reproductiva.
- Probar con otras especies ornamentales para encontrar la más eficiente de acuerdo a las condiciones de suelo.
- Con los resultados obtenidos realizar las gestiones para investigar la fitoextracción en el parque Pentagonito.
- En el parque Zoológico de Huachipa realizar una cuantificación de la cantidad de sedimentos que ingresan a la zona de Bosque de Aves y medir el contenido de plomo.
- El color atípico de los suelos y agua de riego del parque Campo de Marte nos lleva a sugerir se realicen análisis de otros elementos contaminantes y microbiológicos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alfaro, M. P. (2004). Evaluación de factores edáficos que determinan la bioacumulación de plomo en Rye Grass anual (*Lolium multiflorum*) y Rye Grass perenne (*Lolium perenne* L). Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Ciencias Ambientales. Universidad nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 98pp.
2. Alonso Trujillo, Javier (2010). Fundamentos Filosóficos de la Investigación Científica. Facultad de estudios superiores Iztacala. Diseños en investigación y estadística aplicada. Primera edición. México. Pag. 1 – 10. <https://prezi.com/gdfni0mp9uuv/fundamentos-filosoficos-de-la-investigacion-cientifica/>
3. Amari T., Ghnaya T. & Abdelly, C. (2017). Nickel, cadmium and lead phytotoxicity and potential of halophytic plants in heavy metal extraction. South African Journal of Botany. July 2017, vol. 111, 99-110. Doi 10.1016/sajb.2017.03.011.
4. Arosquipa G. & Villegas E. (2013). Determinación del contenido de plomo en sangre proveniente de la policía de tránsito femenina de las unidades Centro y Sur de Lima Metropolitana. Revista de la Sociedad Química del Perú. Volumen 79n3: 229-235.
5. Autoridad Nacional del Agua (2012). Estrategias para la protección de la calidad de los recursos hídricos de la Cuenca del Río Rímac. Recuperado de <http://www.ana.gob.pe/media/540567/1.%20estrategias%20para%20la%20protecci%C3%B3n%20de%20la%20calidad%20de%20los%20recursos%20h%C3%ADdricos%20de%20la%20cuenca%20del%20r%C3%ADo%20r%C3%ADmac.pdf>.
6. Ballesteros, L.J. (2011). Determinación de la eficiencia de *Azolla caroliniana* como matriz de hiperacumulación de metales pesados

- cuantificados. Tesis para optar el título de Ingeniero en Biotecnología de los recursos naturales. Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador. 96pp.
7. Barrantes Sánchez-Merino, Francisco; Falero Pérez, María del Carmen; García García, Juan; Cuenda Meléndez, Juan. (1992). Interpretación de análisis de suelo, foliar y agua de riego. Ediciones Mundi-Prensa Madrid. 279 pp
 8. Blanco, Andrés; Salazar, María; Vergara Cid, C; Pereyra, C; Cavaglieri, L; Becerra, A; Pignata, M & Rodriguez, J (2016). Multidisciplinary study of chemical and biological factors related to Pb accumulation in sorghum crops grown in contaminated soils and their toxicological implications. *Journal of Geochemical Exploration* 166 (2016) 18-26. Córdoba, Argentina.
 9. Canadian Council of Ministers of the Environment [CCME]. (2008). The National Contaminated Sites Remediation Program. Guidance Manual for Developing Site-Specific Soil Quality Remediation Objectives for Contaminated Sites in Canada.
Recuperado de
http://www.ccme.ca/en/resources/canadian_environmental_quality_guidelines/index.html
 10. Castillo Alegría, Yulisa Gessella. (2010). Evaluación toxicológica de plomo en suelos de Lima Metropolitana. UNMSM. Facultad de Farmacia y Bioquímica. Departamento Académico de Farmacología, Bromatología y Toxicología. 78h.
 11. Delgadillo, L.A; González, R.C; Prieto G.F; Villagómez, I.J y Acevedo, S.O. (2011). Fitoremediación una alternativa para eliminar la contaminación. México. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 14:597-603.
 12. DIGESA (Dirección General de Salud Ambiental) y CDC (Centro Nacional de Salud Ambiental) (2006). Fuentes de Plomo en Lima y Callao, Perú 1998-2000.
 13. Dos-Santos, J.B; Marengo-Centeno, C.R; Vieira, C.A; Raj-Gheyi, H; De-Lima, G.S y De-Lira, V.M. (2017). Crecimiento del Girasol (*Helianthus*

- annuus* L.) en función de la salinidad del agua de riego con fertilización nitrogenada. Agrociencia vol. 51 número 6. Agosto-setiembre.
14. El Comercio. 2015. Zoológico de Huachipa: uno de los 11 mejores de América Latina. 26 de octubre del 2015 (<https://elcomercio.pe/lima/zoologico-huachipa-11-mejores-america-latina-235757>). Perú.
 15. Estrada, R. (2011). Kiwicha alimento nuestro para el mundo. Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Ministerio de Agricultura. Cuzco. 42pp
 16. Fadi, F., Bano, A., & Fuller, M, (2010). The improved phytoextraction of lead (Pb) and the growth of maize (*Zea mays* L.): the role of plant growth regulators (GA₃ and IAA) and EDTA alone and in combinations. Chemosphere. June 2010, pages 457-462.
 17. Frandegard, Joakim Krook, Niclas Svensson and Mats Eklund (2004). OA novel approach for environmental evaluation of landfill mining. Department of Management and Engineering, Environmental Technology and management, Linköping University, SE-581 Linköping, Sweden.
 18. Giménez, V. (1991). Ensayos sobre la translación en plantas de fungicidas sistémicos. Bol, San. Veg. Plagas, 17: 497-518.
 19. Gómez Pando Luz, Romero Loli, Marino (2004). El cultivo de la kiwicha. Recomendaciones para su cultivo. UNALM, INCAGRO. Folleto del Programa de Investigación y Proyección Social en Cereales y granos Nativos.
 20. González, Sergio (1986). Contenido natural de metales pesados extraíbles con EDTA en suelos del valle Aconcagua. Agricultura técnica (Chile) 46 (3): 323-327.
 21. Grupo GEA (2004). PNUMA, CONAM por el desarrollo sostenible, MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA, MUNICIPALIDAD DEL CALLAO. Perspectivas del Medio Ambiente Urbano: GEO Lima y Callao. 238 pp.
 22. He S., Lu Q., Li W., Ren Z., Zhou Z., Feng X., Zhang Y & Li Y. (2017). Factors controlling cadmium and lead activities in different parent

- material-derived soils from the Pearl River Basin. *Chemosphere* vol. 182: 509-516
23. Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2015). Población y territorio. Recuperado de http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1157/libro.pdf
 24. Jackson M. (1964). *Análisis químico de suelos*. Barcelona (España): Ediciones Omega.
 25. Ji P., Song Y., Leigh M. & Liu Y. (2011). Strategies for enhancing the phytoremediation of cadmium-contaminated agricultural soils by *Solanum nigrum* L. *Environmental Pollution* 159:762-768.
 26. Kidd, P.S; Becerra, C.C; García L.M y Monterroso C. (2007). Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum* L. Universidad de Santiago de Compostela. España. 16 (2):26-29
 27. Komárek, M., Tlustos, P., Chrastny V y Ettler, V. (2007). The use of maize and poplar in chelant-enhanced phytoextraction of lead from contaminated agricultural soils. *Chemosphere* 67 (2007) 640-651. Elsevier.
 28. Li, N., Guo, B., Li, H., Fu, Q., Feng, R. y Ding, Y (2016). Effects of double harvesting on heavy metal uptake by six forage species and the potential for phytoextraction in field. *Pedosphere* 26(5): 717–724, 2016.doi:10.1016/S1002-0160(15)60082-0 ISSN 1002-0160/CN 32-1315/P © 2016 Soil Science Society of China Published by Elsevier B.V. and Science Press
 29. Madejón, P., Murillo, J.M, et al. (2002) Bioaccumulation of As, Cd, Cu, Fe and Pb in wild grasses affected by the Aznalcóllar mine spill (SW Spain). Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, España. *The Science of the Total Environment* 290, 105-120. 2002 Elsevier
 30. Manousaky, E. & Kalogerakis, N. (2009). Phytoextraction of Pb and Cd by the Mediterranean saltbush (*Atriplex halimus* L): metal uptake in relation to salinity. *Environmental Science and pollution research*.

31. Mapes, C; Díaz, A; Collazo, M y Bye, R. (1995). Desarrollo de cinco razas de Amaranto (*Amaranthus* spp) en Cholco, Estado de México. Anales Inst. Biol. Univ.Nac.Autón.México, Ser. Bot. 66 (2): 149-169.
32. Martín-Aparicio, A; Pastor, J; Gutierrez-Maroto, A; Hernández, A (2006). Efectos de la aplicación de EDTA sobre un suelo de mina contaminado por metales pesados (Pb, Zn, Cd y Cu). Riesgos asociados. Universidad de Alcalá y Centro de Ciencias Medioambientales en Madrid.
33. Marrero, C.J; Amores, S.I y Coto, P.O. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. 46(3): 53-58.
34. Meuser, H. (2013). Soil Remediation and Rehabilitation. Treatment of Contaminated and Disturbed Land. University of Applied Sciences. Alemania. 23:8-17.
35. MINAM (Ministerio del Ambiente). (2017). Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. D.S. N° 004-2017-MINAM. Edición 9719. El Peruano; Lima, 07 de junio del 2017. Perú.
36. MINAM (Ministerio del Ambiente). (2017). Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo. DECRETO SUPREMO N° 011-2017-MINAM. El Peruano; Lima, sábado 02 de diciembre del 2017; Año XXXIV - N° 14307: 12-15 (http://www.minam.gob.pe/consultaspublicas/wpcontent/uploads/sites/52/2017/07/Proyecto-de-DS_-ECA-SUELO.pdf). Perú.
37. MINAM (Ministerio del Ambiente). (2014). Guía para Muestreo de Suelos. Perú. 38 p. DECRETO SUPREMO N° 002-2014-MINAM. El Peruano; Lima, lunes 24 de marzo del 2014; 519448-519450 pp.
38. Moronta-Riera J. & Riverón-Zaldivar A.B. (2016). Evaluación de la calidad físico-química de las aguas y sedimentos de la costa oriental del lago de Maracaibo. En Minería y Geología del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. V32n2: 102-111.

39. Narváez J. (2014). Sistema de Irrigación y señoríos indígenas en el valle bajo del Rímac durante el siglo XVI. Boletín del Instituto Riva-Agüero (BIRA) N° 37: 33-74.
40. Navarro-Aviñó, J; Aguilar, A y Lopez-Moya, J (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente. España. Ecosistemas 16(2):10-25.
41. Ortiz Ocaña, Alexander. (2015). Epistemología y ciencias humanas. Modelos epistemológicos y paradigmas. Ediciones de la U-Carrera. Bogotá, Colombia. 129 pp.
42. Ortiz, C., Trejo, C., Valdez, C., Arreola, Á., Flores, H y López, A. (julio, 2009). Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. Revista Chapingo Serie Horticultura, 15(2), 161-168.
43. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2012). Resultados de los análisis realizados a los Gasoholes en las plantas de ventas. Recuperado de [http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/GFH/Control Calidad Cantidad Combustibles/Resultados Controles Efectuados/Resultados%20Laboratorio%20Plantas%20Refinerias%20-%202010%20Gasoholes.pdf](http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/GFH/Control%20Calidad%20Combustibles/Resultados%20Controles%20Efectuados/Resultados%20Laboratorio%20Plantas%20Refinerias%20-%202010%20Gasoholes.pdf)
44. Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN). (1998). Aprueban el Reglamento de Infracciones y Sanciones al D.S.No.019-98-MTC que dispuso eliminar del mercado la oferta de Gasolina 95RON con plomo. RESOLUCIÓN 405-98-OS/CD. El Peruano; Lima, miércoles 4 de noviembre de 1998; AÑO XVI - N° 6706: 165412-165413. Perú.
45. Pottier M., De La Torre V.S., Victor C., David L.C., Chalot M. & Thomine S. (2015). Genotypic variations in the dynamics of metal concentrations in poplar leaves: A field study with a perspective on phytoremediation. En Environment Pollution 199: 73-82.
46. Ramírez, A (2005). El cuadro clínico de la intoxicación ocupacional por plomo. Facultad de Medicina Universidad Nacional mayor de San Marcos. Perú.

47. Ruiz, E. & Armienta, M. (2012). Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a Jales o residuos mineros. *Rev. Int. Contaminación Ambiental* 28(2): 103-117.
48. Sanín, L; González, T; Romieu, I y Hernández, M (1998). Acumulación de plomo en huesos y sus efectos en la salud. México. 40(4):360-366. 979-16
49. Seoáñez, M. (1999). Contaminación del suelo: estudios, tratamiento y gestión. Ediciones Mundi – Prensa. España. 352 p
50. Sierra Exportadora (2015). Perfil Comercial Kiwicha. <http://www.sierraexportadora.gob.pe/directorios>.
51. Solano A. (2005). Movilización de metales pesados en residuos y suelos industriales afectados por la hidrometalurgia del cinc. Tesis Doctoral, Doctorado en Química, Facultad de Química, Departamento de Química Agrícola, Geología y Edafología. Universidad de Murcia, España. 370h.
52. Torres, G. (2015). Educación ambiental para el desarrollo compatible. Guerra ambiental y transición civilizatoria. *Pacarina del Sur*, año 6, número 24, 2015.
53. Wuana, R & Okieimen, F (2011). Heavy metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation. *International Scholarly Research Network ISRN Ecology*. Volume 2011, Article ID 402647, 20 pages. DOI: 10.5402/2011/402647
54. Xintaras, C. (1992). Analyses paper: Impact of lead-contaminated soil on public health. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. <http://www.atsdr.cdc.gov/cxlead.html>
55. Xu F., Liu Z, Cao Y., Qiu L., Feng J., Xu F. & Tian X. (2017). Assessment of heavy metal contamination in urban river sediments in the Jiaozhou Bay catchment, Qingdao, China. *En Elsevier Catena*. Volume 150: 9-16.
56. Yaron, B, R. Calvet, R. Prost (1996). *Soil Pollution: Processes and Dynamics*. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York. P. 37.

www.lenntech.com/espanol/referencias_tabla_periodica.htm;
 www.Sugeologia.org/ publicaciones/conf_doc/plomo.pdf

57. Walkley A & Black I. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37:29-38.
58. Whitacre, M.D (2008). Review of environmental contamination and toxicology. Editorial: Springer. US. 193:8-11
59. Witzling. L., Wander. M., & Phillips, E. (2011). Testing and educating on urban soil lead: A case of Chicago community gardens. *Journal of agricultura, food system, and community development*. Recuperado de <http://www.agdevjournal.com/volume-1-issue-2/150-testing-and-educating-on-urban-soil-lead-a-case-of-chicago-community-gardens.html?catid=62%3Aurban-agriculture-call-papers-vol01-issue2>.
60. Zaier, H., Ghnaya, T., Ben, K., Lakhdar, A., Rejeb, S. & Jemal, F. (2010). Effects of EDTA on phytoextraction of heavy metals (Zn, Mn and Pb) from sludge-amended soil with *Brassica napus*. Bioresource Technology, 101(11), 3978-3983.

Anexo 1. Prueba T para una muestra con valor de prueba = 140 ppm Pb en suelos y un número de muestreo menor a 40 para los parques Kennedy, Pampa Galeras en PLL y Bosque de Aves en PZH.

| Pruebas de normalidad | | | | |
|------------------------|---------------------------------|-------------|----|-------|
| | Prueba | Estadístico | gl | Sig. |
| Kennedy | Kolmogorov-Smirnov ^a | 0.148 | 32 | 0.072 |
| Pampa Galera del PLL | Shapiro-Wilk | 0.949 | 7 | 0.716 |
| Bosque de Aves del PZH | Shapiro-Wilk | 0.944 | 15 | 0.436 |

Prueba T

| Estadísticos para una muestra | | | | |
|-------------------------------|----|--------|--------------------|---------------------------|
| | N | Media | Desviación típ. | Error típ. de la media |
| Kennedy | 32 | 55.52 | 18.46 | 3.26 |
| Pampa Galera del PLL | 7 | 234.47 | 72.80 | 27.52 |
| Bosque de Aves del PZH | 15 | 266.41 | 90.07 | 23.26 |

| Prueba para una muestra | | | | | |
|-------------------------|-----------------------|----------------------|----|---------------------|-------------------------|
| Valor de prueba = 140 | | | | | |
| | t _{práctico} | T _{crítico} | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias |
| Kennedy | -25.88 | 2.04 | 31 | 0.000 | -84.48 |
| Pampa Galera del PLL | 3.43 | 2.45 | 6 | 0.014 | 94.47 |
| Bosque de Aves del PZH | 5.44 | 2.14 | 14 | 0.000 | 126.41 |

Anexo 2. Prueba no paramétrica de Wilcoxon para el suelo del parque Pentagonito.

Resumen de Contrastes de hipótesis

| Hipótesis nula | Prueba | Sig | Decisión |
|------------------------------------|--|-------|---------------------------|
| La mediana de Pb es igual a 140.00 | Prueba de Wilcoxon de los rangos con signos para una muestra | 0,004 | Rechace la hipótesis nula |

Anexo 3. Prueba de normalidad y prueba t de una cola para contenido de plomo en agua de riego de los GPLM.

Agua Campo de Marte

Prueba de Normalidad

| Shapiro-Wilk | | | |
|--------------|------|----|------|
| Estadístic | | | |
| | o | gl | Sig. |
| Pb | ,636 | 5 | ,002 |

La variable no es normal porque sig es menor que alfa (0,05)

Prueba de muestra única

Valor de prueba = 0.05

| | t | Gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias |
|----|--------|----|------------------|----------------------|
| Pb | -1,584 | 4 | ,188 | -,02840 |

Agua Zoológico de Huachipa

Prueba de Normalidad

| Shapiro-Wilk | | | |
|--------------|------|----|------|
| Estadístic | | | |
| | o | gl | Sig. |
| Pb | ,881 | 5 | ,314 |

La variable es normal porque sig es mayor que alfa (0,05)

Prueba de muestra única

Valor de prueba = 0.05

| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias |
|----|------|----|---------------------|-------------------------|
| Pb | ,404 | 4 | ,707 | ,009800 |

Parque Las Leyendas

Prueba de Normalidad

Shapiro-Wilk

Estadístic

| | o | gl | Sig. |
|----|------|----|------|
| Pb | ,778 | 5 | ,053 |

La variable es normal porque sig es mayor que alfa (0,05)

Prueba de muestra única

Valor de prueba = 0.05

| | T | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias |
|----|--------|----|---------------------|-------------------------|
| Pb | -1,213 | 4 | ,292 | -,021200 |

Parque Pentagonito

Prueba de Normalidad

Shapiro-Wilk

Estadístic

| | o | Gl | Sig. |
|----|------|----|------|
| Pb | ,783 | 3 | ,073 |

La variable es normal porque sig es mayor que alfa (0,05)

Prueba de muestra única

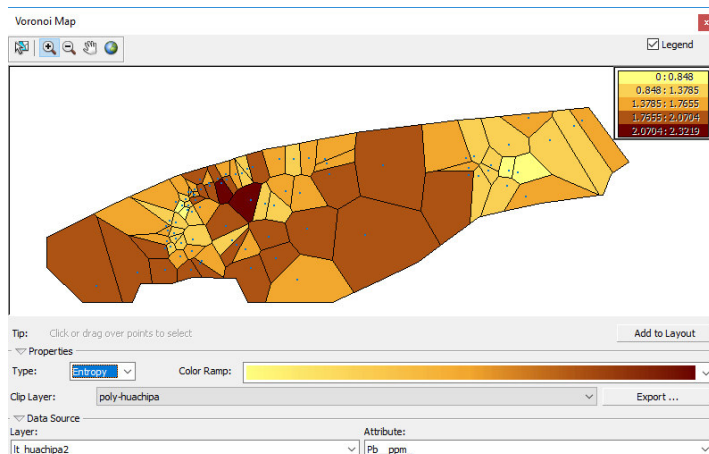
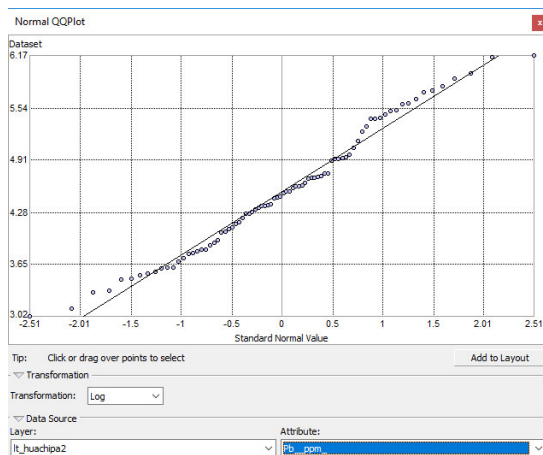
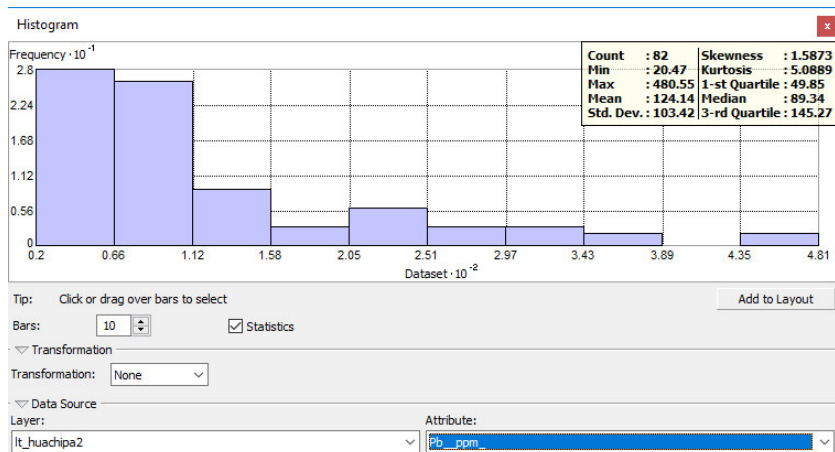
Valor de prueba = 0.05

| | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias |
|----|--------|----|---------------------|-------------------------|
| Pb | -5,463 | 2 | ,032 | -,041000 |

Anexo 4. Geoestadística para realizar los mapas de plomo total en suelos en los GPLM.

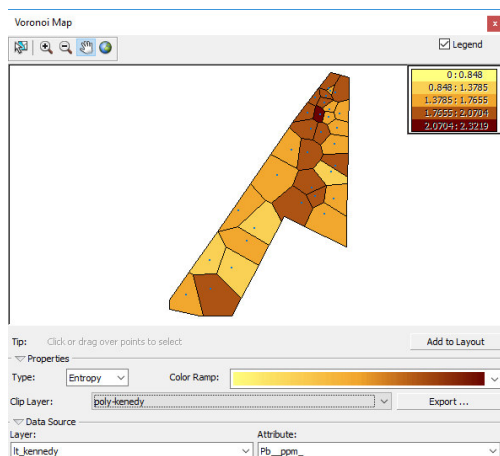
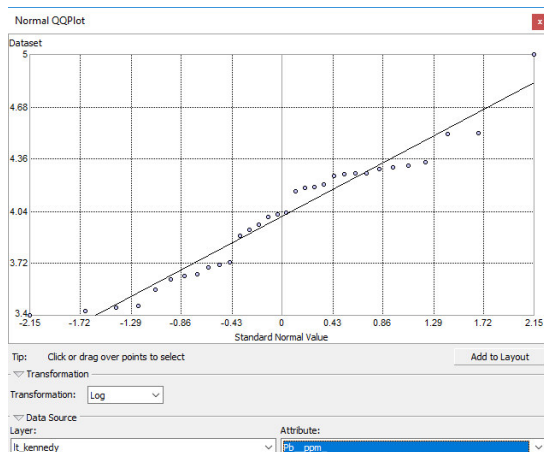
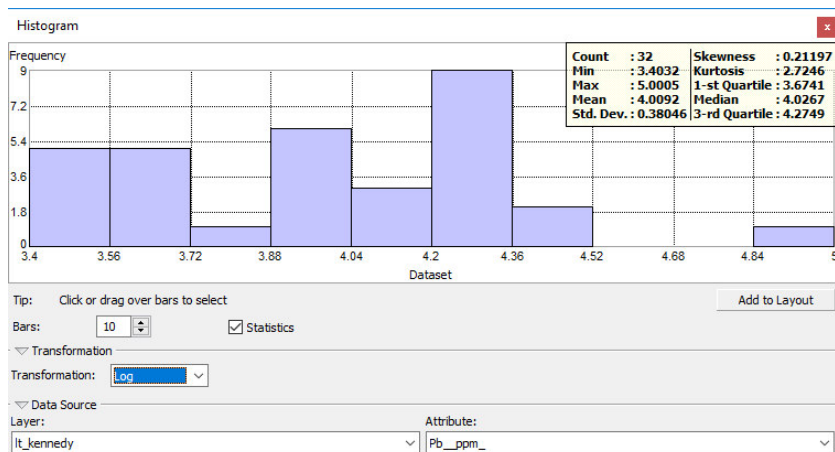
Parque Zoológico de Huachipa

| | |
|-------------------------------|-------|
| Tipo de interpolación | EBK |
| Root-Mean-Square | 88.56 |
| Root-Mean-Square Standardized | 0.96 |



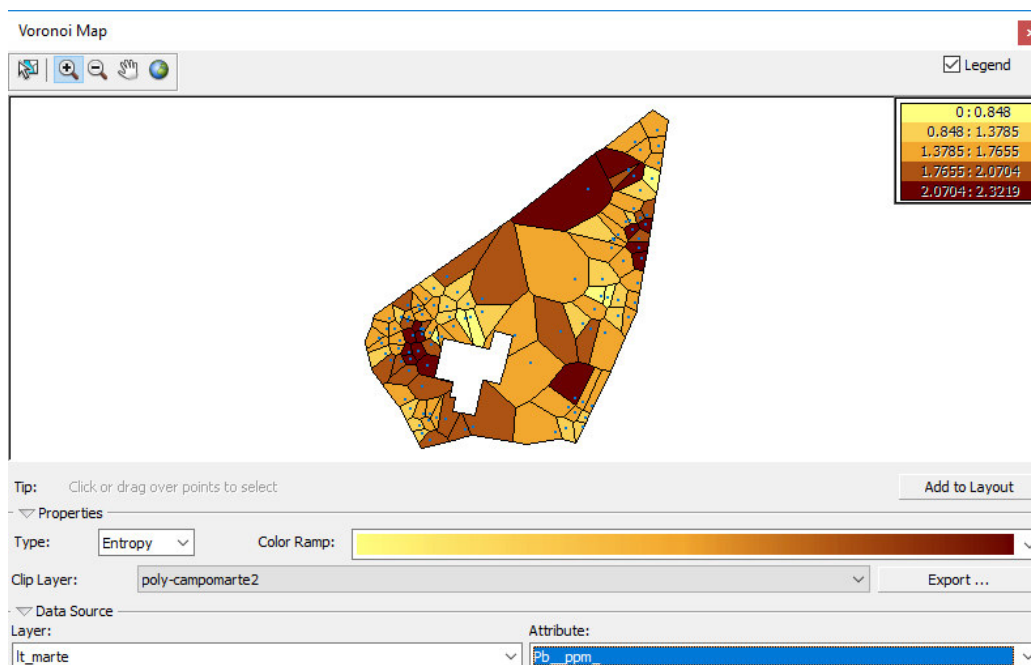
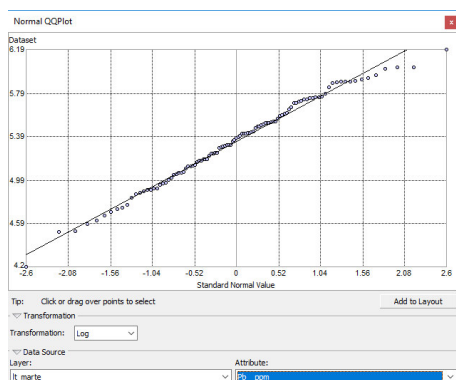
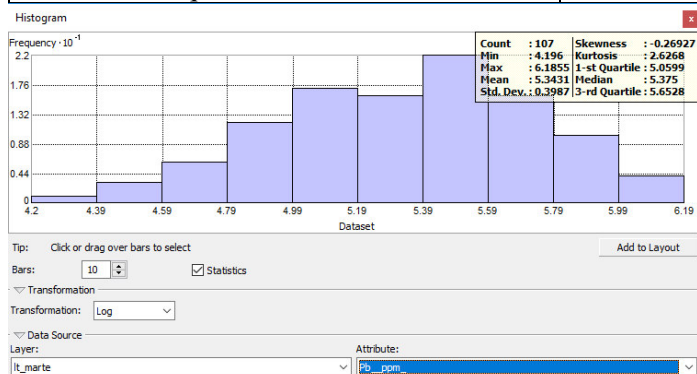
Parque Kennedy

| | |
|-------------------------------|-------|
| Tipo de interpolación | EBK |
| Root-Mean-Square | 23.55 |
| Root-Mean-Square Standardized | 1.01 |



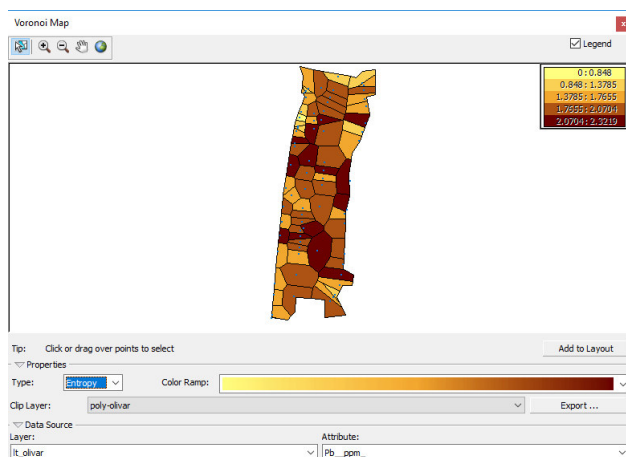
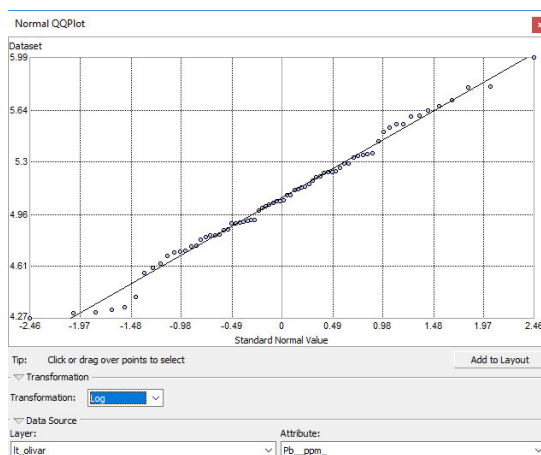
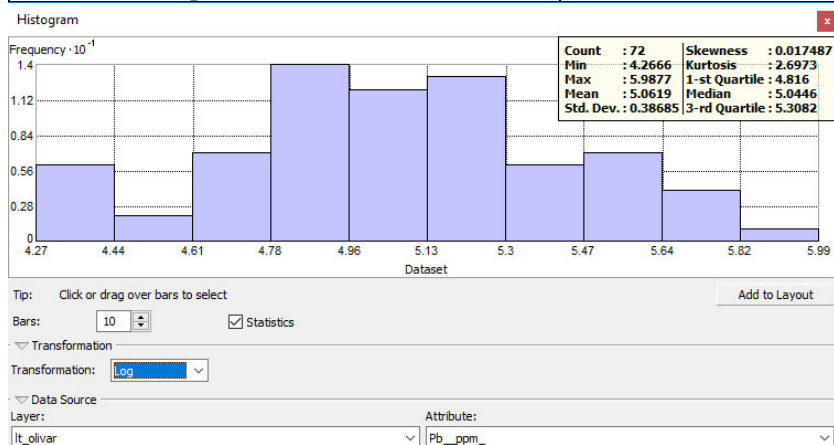
Parque Campo de Marte

| | |
|-------------------------------|---------|
| Tipo de interpolación | Kriging |
| Root-Mean-Square | 80.14 |
| Root-Mean-Square Standardized | 0.92 |



Parque Bosque El Olivar

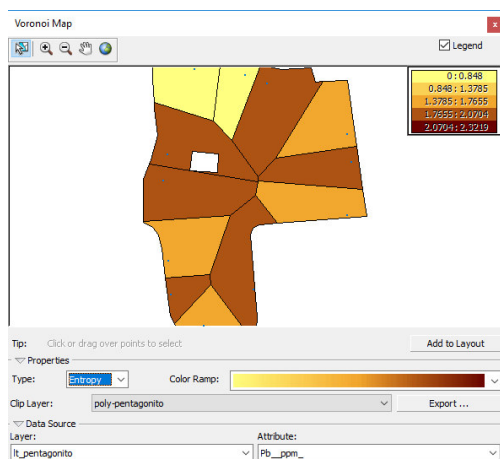
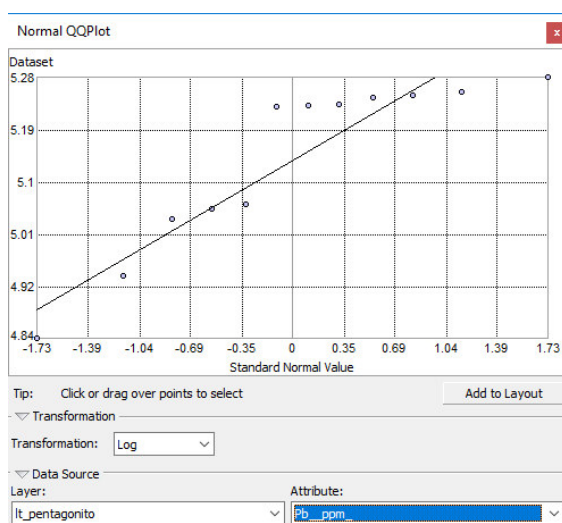
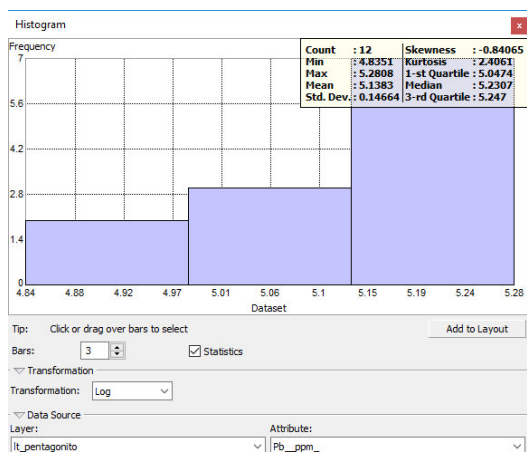
| | |
|-------------------------------|---------|
| Tipo de interpolación | Kriging |
| Root-Mean-Square | 60.27 |
| Root-Mean-Square Standardized | 0.97 |



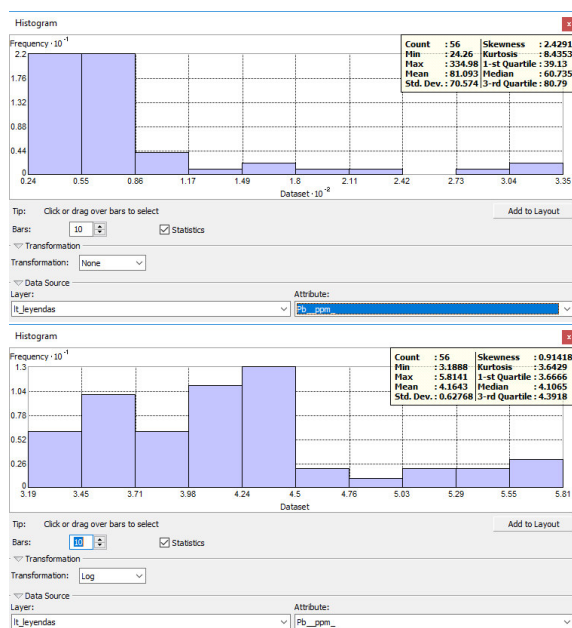
Parque Pentagonito

| | |
|-------------------------------|-------|
| Tipo de interpolación | IDW |
| Root-Mean-Square | 22.98 |
| Root-Mean-Square Standardized | 0.93 |

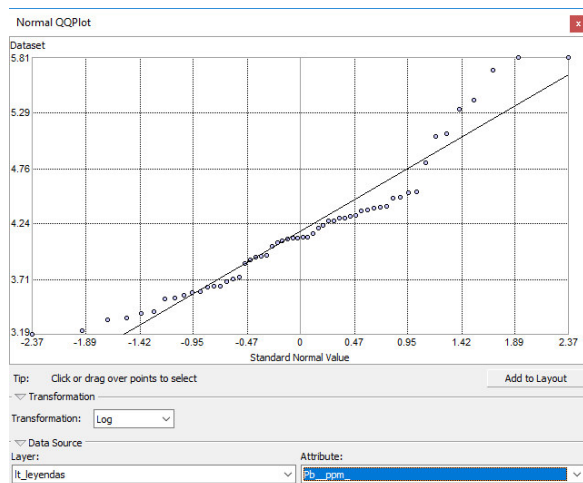
La cantidad de puntos no ha permitido utilizar una interpolación más robusta, se ha utilizado la interpolación de la distancia ponderada inversa (IDW por sus siglas en inglés).

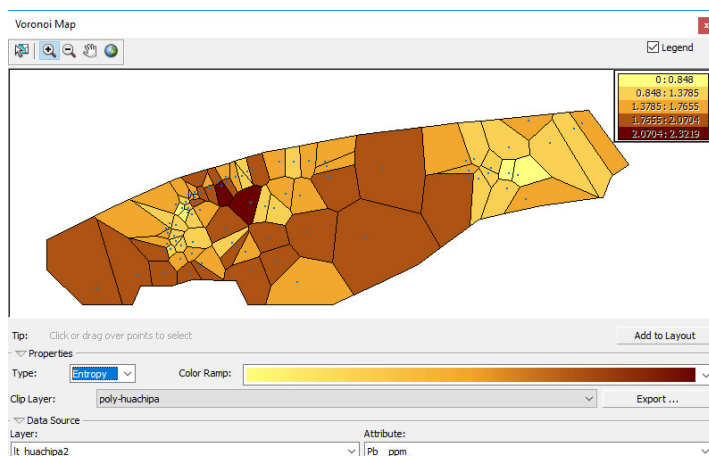


Parque de las Leyendas



Los datos no tenían una distribución normal o también llamada normal estándar (Media: 81.093 y Mediana: 60.735) ya que su media y mediana se diferenciaban en más de 30 unidades, luego de realizar una conversión de datos de tipo logarítmica los datos se hicieron normales al tener una diferencia de 0.06 unidades (Media: 4.1643 y Mediana: 4.1065).





Anexo 5. Resultados de pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas para la variable peso seco de *Amaranthus caudatus*.

Pruebas de normalidad

| | Shapiro-Wilk | | | | |
|--------------------------|--------------|--------|--------|---------|---------|
| | gl | Sig.CM | Sig.BO | Sig PZH | Sig PLL |
| 1ra etapa | 18 | ,998 | ,400 | ,178 | ,041 |
| 2da etapa hojas | 18 | ,402 | ,178 | ,242 | ,259 |
| 2da etapa tallos | 18 | ,146 | ,428 | ,130 | ,156 |
| 2da etapa aéreo | 18 | ,238 | ,852 | ,159 | ,088 |
| 3ra etapa hojas | 18 | ,288 | ,295 | ,152 | ,273 |
| 3ra etapa tallos | 18 | ,610 | ,154 | ,212 | ,214 |
| 3ra etapa inflorescencia | 18 | ,117 | ,119 | ,494 | ,931 |
| 3ra etapa aéreo | 18 | ,280 | ,238 | ,258 | ,647 |
| Raíz | 18 | ,595 | ,387 | ,654 | ,258 |

Prueba de homogeneidad de varianzas

| | df1 | df2 | Sig. CM | Sig BO | Sig PZH | Sig PLL |
|--------------------------|-----|-----|---------|--------|---------|---------|
| 1ra etapa | 2 | 15 | ,132 | ,092 | ,212 | ,072 |
| 2da etapa hojas | 2 | 15 | ,754 | ,171 | ,902 | ,396 |
| 2da etapa tallos | 2 | 15 | ,181 | ,093 | ,940 | ,529 |
| 2da etapa aéreo | 2 | 15 | ,381 | ,229 | ,936 | ,535 |
| 3ra etapa hojas | 2 | 15 | ,538 | ,110 | ,180 | ,785 |
| 3ra etapa tallos | 2 | 15 | ,572 | ,283 | ,070 | ,062 |
| 3ra etapa inflorescencia | 2 | 15 | ,483 | ,671 | ,095 | ,049 |
| 3ra etapa aéreo | 2 | 15 | ,621 | ,553 | ,048 | ,204 |
| Raíz | 2 | 15 | ,593 | ,182 | ,189 | ,742 |

Anexo 6. Valor p en ANOVA para los pesos secos de *Amaranthus caudatus* creciendo en los cuatro parques en estudio con un alfa de 0.05

| Parque Campo de Marte | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------|---------|--------|---------|-------|--------|-----------|-------|-------|
| | 1ra ecd* | 2da ecd | | 3ra ecd | | | | | |
| | Aéreo | Hojas | Tallos | Aéreo | Hojas | tallos | infloresc | aéreo | Raíz |
| Agua | 0.309 | 0.014 | 0.032 | 0.019 | 0.173 | 0.326 | 0.308 | 0.402 | 0.613 |
| EDTA | 0.727 | 0.029 | 0.020 | 0.021 | 0.934 | 0.560 | 0.753 | 0.664 | 0.262 |
| Agua*EDTA | 0.900 | 0.769 | 0.845 | 0.897 | 0.069 | 0.175 | 0.317 | 0.197 | 0.233 |
| Parque Bosque El Olivar | | | | | | | | | |
| Agua | 0.105 | 0.349 | 0.002 | 0.009 | 0.503 | 0.060 | 0.785 | 0.206 | 0.271 |
| EDTA | 0.993 | 0.463 | 0.534 | 0.683 | 0.697 | 0.246 | 0.578 | 0.809 | 0.043 |
| Agua*EDTA | 0.468 | 0.657 | 0.011 | 0.172 | 0.169 | 0.637 | 0.777 | 0.374 | 0.960 |
| Parque Zoológico de Huachipa | | | | | | | | | |
| Agua | 0.505 | 0.048 | 0.102 | 0.070 | 0.354 | 0.234 | 0.354 | 0.278 | 0.895 |
| EDTA | 0.468 | 0.691 | 0.977 | 0.877 | 0.236 | 0.288 | 0.512 | 0.149 | 0.428 |
| Agua*EDTA | 0.908 | 0.598 | 0.433 | 0.490 | 0.841 | 0.493 | 0.992 | 0.701 | 0.983 |
| Parque Las Leyendas | | | | | | | | | |
| Agua | 0.418 | 0.538 | 0.589 | 0.554 | 0.003 | 0.682 | 0.822 | 0.405 | 0.913 |
| EDTA | 0.223 | 0.916 | 0.730 | 0.888 | 0.347 | 0.504 | 0.084 | 0.218 | 0.037 |
| Agua*EDTA | 0.008 | 0.809 | 0.498 | 0.711 | 0.036 | 0.402 | 0.435 | 0.216 | 0.768 |

Elaboración propia. *ecd: etapa de crecimiento y desarrollo

Anexo 7. Análisis estadístico de kruskall wallis para los valores de concentración de plomo total (ppm) en tejidos de *Amaranthus caudatus* en los cuatro GPLM.

Calidad de agua

| | Estadísticos de prueba ^{a,b} | | | | | | | | |
|------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------|------|
| | 1ra etapa | 2da etapa hojas | 2da etapa tallos | 2da etapa aéreo | 3ra etapa hojas | 3ra etapa tallos | 3ra etapa inflorescen cia | 3ra etapa aéreo | Raíz |
| C.M: Sig. | | | | | | | | | |
| Asintótica | ,050 | ,014 | ,150 | ,033 | ,036 | ,252 | ,188 | ,036 | ,001 |
| B.O: Sig. | | | | | | | | | |
| Asintótica | ,003 | ,280 | ,875 | ,345 | ,166 | ,150 | ,750 | ,622 | ,838 |
| PZH: Sig. | | | | | | | | | |
| asintótica | ,059 | ,687 | ,014 | ,622 | ,196 | 1,000 | ,622 | ,181 | ,241 |
| PLL: Sig. | | | | | | | | | |
| Asintótica | ,026 | ,017 | ,050 | 1,000 | ,407 | ,983 | ,367 | ,241 | ,036 |

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación: Agua

EDTA

| | Estadísticos de prueba ^{a,b} | | | | | | | | |
|------------|---------------------------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------------|---------------------------------|-----------------------|------|
| | 1ra etapa | 2da etapa hojas | 2da etapa tallos | 2da etapa aéreo | 3ra etapa hojas | 3ra etapa tallos | 3ra etapa inflorescen cia | 3ra etapa aéreo | Raíz |
| C.M: Sig. | | | | | | | | | |
| Asintótica | ,108 | ,005 | ,233 | ,005 | ,453 | ,033 | ,308 | ,310 | ,757 |
| B.O: Sig. | | | | | | | | | |
| Asintótica | ,894 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,233 | ,000 | ,000 | ,000 |
| PZH: Sig. | | | | | | | | | |
| asintótica | ,085 | ,000 | ,005 | ,000 | ,000 | ,004 | ,000 | ,000 | ,691 |
| PLL: Sig. | | | | | | | | | |
| Asintótica | ,019 | ,001 | ,050 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,000 | ,005 |

a. Prueba de Kruskal Wallis

Anexo 8. Prueba T entre el contenido de plomo en los suelos al inicio del experimento y el contenido de plomo en cada unidad experimental luego de la fitoextracción

| | Normalidad Shapiro-Wilk | Homogeneidad Varianza | Valor de prueba (ppm) | T práctico | T crítico | Sig |
|-----|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------|-----------|-----|
| CM | 0.337 | 0.248 | 344.74 | -11.231 | | 0 |
| BO | 0.007 | 0.236 | 199.2 | -15.258 | -1.74 | 0 |
| PZH | 0.785 | 0.43 | 769.53 | -11.668 | | 0 |
| PLL | 0.423 | 0.782 | 188.91 | -7.731 | | 0 |

Anexo 9. Análisis de caracterización de los suelos de los GPLM.

| | C.M | B.O | P.Z.H | P-L.L | Pentagonito | Parque Kennedy |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|----------------|
| Fecha | 15-Jun-16 | 22-Jul-16 | 22-Jul-16 | 16-Sep-16 | 6-Jun-16 | 22-Jul-16 |
| pH (1:1) | 7,47 | 7,06 | 6,78 | 7,5 | 8,19 | 7,49 |
| C.E (1:1) dS/m | 0,59 | 8,4 | 3,86 | 13,35 | 2,37 | 1,01 |
| CaCO ₃ % | 0,6 | 0,6 | 2,6 | 1,7 | 1,5 | 1 |
| MO % | 11,31 | 3,67 | 9,19 | 3,68 | 2,76 | 2,67 |
| P ppm | 73,3 | 38,7 | 57,2 | 134,4 | 76,3 | 48,5 |
| K ppm | 291 | 646 | 708 | 1716 | 475 | 137 |
| %Arena | 60 | 69 | 65 | 62 | 72 | 75 |
| %Limo | 27 | 22 | 26 | 31 | 18 | 14 |
| %Arcilla | 13 | 9 | 9 | 7 | 10 | 11 |
| Clase Textural | Fr.A | Fr.A | Fr.A | Fr.A | Fr.A | Fr.A |
| CIC | 30,68 | 16,8 | 25,6 | 16,32 | 11,2 | 15,52 |
| Ca ²⁺ | 26,61 | 13,59 | 22,02 | 13,78 | 8,57 | 13,33 |
| Mg ²⁺ | 2,9 | 1,6 | 1,97 | 1 | 1,52 | 1,67 |
| K ⁺ | 0,77 | 1,21 | 1,34 | 1,17 | 0,94 | 0,34 |
| Na ⁺ | 0,4 | 0,41 | 0,27 | 0,37 | 0,17 | 0,18 |
| Suma cationes | 30,68 | 16,8 | 25,6 | 16,32 | 11,2 | 15,52 |
| Suma bases | 30,68 | 16,8 | 25,6 | 16,32 | 11,2 | 15,52 |
| %Sat,Bases | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| B ppm | 1,92 | 6,72 | 6,32 | 11,67 | | 1,41 |
| Cu ppm | 3900 | 9,4 | 25,7 | 3,8 | | 16,6 |
| Fe ppm | 154 | 22,3 | 31,9 | 5,7 | | 45,1 |
| Mn ppm | 575 | 30 | 3,8 | 3,5 | | 4,5 |
| Zn ppm | 5100 | 33,5 | 270 | 23,4 | | 23,7 |
| Pb ppm | 344,74 | 199,2 | 769,53 | 188,91 | 372,83 | 71,61 |
| Cd ppm | 8,5 | 2,16 | 9,04 | 1,97 | 2,89 | 1,46 |
| Cr ppm | 144,67 | 26,42 | 37,65 | 25,26 | 18,47 | 24,71 |

Anexo 10. Peso seco (gramos) de *Amaranthus caudatus*.**Campo Marte**

| | 1ra ecd | 2da ecd | | | 3ra ecd | | | | |
|--------|---------|---------|--------|-------|---------|--------|----------|-------|------|
| | Aéreo | Hojas | Tallos | Total | Hojas | tallos | inflores | aéreo | raíz |
| Agua 1 | 2,40 | 1,92 | 2,03 | 3,95 | 2,40 | 6,85 | 3,58 | 12,84 | 4,04 |
| Agua 2 | 2,95 | 2,96 | 3,16 | 6,12 | 2,68 | 7,86 | 5,10 | 15,63 | 4,55 |
| Agua 3 | 3,28 | 2,58 | 2,86 | 5,45 | 3,07 | 8,82 | 3,89 | 15,85 | 4,76 |
| EDTA 1 | 2,95 | 2,79 | 3,11 | 5,89 | 2,72 | 8,13 | 4,30 | 15,18 | 4,81 |
| EDTA 2 | 2,79 | 2,17 | 2,25 | 4,42 | 2,70 | 7,52 | 4,04 | 14,30 | 4,10 |

Bosque El Olivar

| | 1ra ecd | 2da ecd | | | 3ra ecd | | | | |
|--------|---------|---------|--------|-------|---------|-------|----------|-------|------|
| | aéreo | Hojas | Tallos | Total | Hjas | tallo | inflores | aéreo | Raíz |
| Agua 1 | 2,23 | 3,75 | 3,57 | 9,08 | 10,20 | 15,71 | 3,27 | 29,39 | 7,95 |
| Agua 2 | 1,56 | 2,93 | 2,50 | 6,05 | 10,61 | 19,20 | 3,77 | 34,05 | 9,33 |
| Agua 3 | 1,46 | 4,80 | 3,53 | 8,34 | 9,33 | 19,91 | 4,26 | 33,68 | 8,03 |
| EDTA 1 | 1,74 | 4,18 | 3,11 | 7,91 | 9,86 | 19,09 | 3,44 | 32,62 | 9,28 |
| EDTA 2 | 1,74 | 3,42 | 3,25 | 7,62 | 10,22 | 17,39 | 4,10 | 32,06 | 7,62 |

Parque Zoológico de Huachipa

| | 1ra ecd | 2da ecd | | | 3ra ecd | | | | |
|--------|---------|---------|--------|-------|---------|-------|----------|-------|------|
| | Aéreo | Hojas | Tallos | Total | Hjas | tallo | inflores | aéreo | raíz |
| Agua 1 | 5,12 | 5,57 | 6,35 | 11,92 | 6,55 | 20,00 | 13,63 | 40,64 | 8,30 |
| Agua 2 | 4,52 | 8,09 | 9,13 | 17,22 | 6,80 | 24,62 | 10,93 | 42,43 | 8,55 |
| Agua 3 | 5,87 | 7,25 | 8,39 | 15,65 | 5,60 | 20,60 | 9,49 | 36,31 | 7,97 |
| EDTA 1 | 5,50 | 7,09 | 7,90 | 14,99 | 5,88 | 20,47 | 10,54 | 37,42 | 7,87 |
| EDTA 2 | 4,82 | 6,78 | 7,93 | 14,71 | 6,74 | 22,95 | 12,06 | 42,15 | 8,69 |

Parque Las Leyendas

| | 1ra ecd | 2da ecd | | | 3ra ecd | | | | |
|--------|---------|---------|--------|-------|---------|-------|----------|-------|------|
| | Aéreo | Hojas | Tallos | Total | Hjas | tallo | inflores | aéreo | Raíz |
| Agua 1 | 0,54 | 1,25 | 0,75 | 1,99 | 5,48 | 7,53 | 2,07 | 15,60 | 2,72 |
| Agua 2 | 0,85 | 1,63 | 1,10 | 2,73 | 3,13 | 5,60 | 2,69 | 11,45 | 2,65 |
| Agua 3 | 0,77 | 1,41 | 1,01 | 2,42 | 3,68 | 6,43 | 2,54 | 12,91 | 2,51 |
| EDTA 1 | 0,60 | 1,44 | 0,90 | 2,33 | 3,84 | 5,90 | 1,68 | 11,73 | 2,16 |
| EDTA 2 | 0,85 | 1,41 | 1,00 | 2,41 | 4,26 | 7,12 | 3,29 | 14,89 | 3,14 |

Anexo 11. Concentración de plomo en tejidos de *Amaranthus caudatus* en función a las tres etapas de crecimiento y desarrollo para los cuatro GPLM.

Parque Campo de Marte

| Días | A1 | A2 | A3 | EDTA1 | EDTA2 |
|------|----|------|------|-------|-------|
| 36 | | 0,77 | 0,7 | 0,71 | 0,69 |
| 48 | | 2,14 | 1,39 | 2,45 | 1,55 |
| 77 | | 12,4 | 8,85 | 4,6 | 8,94 |

Parque Bosque El Olivar

| Días | A1 | A2 | A3 | EDTA1 | EDTA2 |
|------|----|-------|-------|-------|-------|
| 36 | | 0,52 | 0,85 | 0,6 | 0,66 |
| 48 | | 12,29 | 22,49 | 26,21 | 1,17 |
| 77 | | 9,62 | 8,25 | 8,91 | 6,61 |

Parque Zoológico de Huachipa

| Días | A1 | A2 | A3 | EDTA1 | EDTA2 |
|------|----|-------|-------|-------|-------|
| 36 | | 0,83 | 0,95 | 1,12 | 1,09 |
| 48 | | 8,06 | 6,46 | 6,04 | 3,37 |
| 77 | | 27,63 | 34,45 | 43,28 | 37,86 |

Parque Las Leyendas

| Días | A1 | A2 | A3 | EDTA1 | EDTA2 |
|------|----|-------|-------|-------|-------|
| 36 | | 0,92 | 0,76 | 1,28 | 0,76 |
| 48 | | 37,23 | 0,82 | | 0,82 |
| 77 | | 11,09 | 20,82 | 10,85 | 10,03 |

A1: agua desionizada; A2: agua desionizada con plomo; A3: agua de riego con plomo; EDTA1: sin EDTA; EDTA2: con EDTA.